



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA  
INGENIERÍA MECÁNICA**

“Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para el edificio de la FTI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios) 2016”.

**AUTORES**

Br. Valeska Lucía Marín Ramírez  
Br. Abrahan Ezequiel Pérez Toruño

**TUTOR**

Ing. Donal Pérez Palma

**Managua, 30 de Agosto de 2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Tecnología de la Industria**

**DECANATURA**

**A:**           Brs.   Valeska Lucia Marín Ramírez  
                  Abrahan Ezequiel Pérez Toruño

**DE:**           Facultad de Tecnología de la Industria

**FECHA:**       Viernes 27 de mayo del 2016

Por este medio hago constar que su protocolo de Investigación Titulado **“Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para el edificio de la FTI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios) 2016.”**, para obtener el título de Ingeniero Mecánico y que contará con el Ing. Donal Pérez Palma, ha sido aprobado por esta Decanatura por lo que puede proceder a su realización.

Cordialmente,



Ing. Daniel Cuadra Horney  
Decano

C/c Archivo

Managua, 30 de Agosto del 2016

**INGENIERO**

**Daniel Cuadra Horney**

Decano de la Facultad de Tecnología de la Industria

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP)

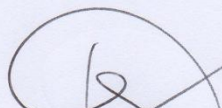
Su Despacho

Estimado Ingeniero Cuadra:

Por medio de la presente me permito comunicarle que he fungido como tutor y estoy dando por culminado el trabajo monográfico titulado **“Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para el edificio de la FTI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios) 2016”** realizado por Br. Valeska Lucia Marín Ramírez y Br. Abraham Ezequiel Pérez Toruño, estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería, carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Tecnología de la Industria.

Después de haber revisado y examinado el contenido del trabajo y tomando en cuenta la calidad del mismo, considero que cumple con los requisitos especificados para este tipo de estudio y puede ser presentado ante un tribunal académico examinador, por tal motivo doy mi aprobación a dicho estudio y de esta forma se les otorgue a los bachilleres el título de Ingeniero Mecánico, una vez que este haya sido expuesto y defendido ante los miembros del honorable tribunal académico autorizado por usted.

Atentamente:



Ing. Donal Pérez Palma  
Profesor Tutor  
Facultad de Tecnología de la Industria  
Universidad Nacional de Ingeniería





*Líder en Ciencia y Tecnología*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

**SECRETARÍA DE FACULTAD**

**F-8: CARTA DE EGRESADO**

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

**MARIN RAMÍREZ VALESKA LUCÍA**

Carne: **2011-37015** Turno **Diurno** Plan de Estudios **972A** de conformidad con el Reglamento Académico, vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de junio del año dos mil dieciseis.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez  
Secretario de Facultad



**Managua, Nicaragua. Apdo. 5595 Tel: 22486879-22490942-22401653**



*Líder en Ciencia y Tecnología*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

**SECRETARÍA DE FACULTAD**

**F-8: CARTA DE EGRESADO**

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

**PEREZ TORUÑO ABRAHAN EZEQUIEL**

Carne: **2011-36927** Turno **Diurno** Plan de Estudios **972A** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los uno días del mes de marzo del año dos mil dieciseis.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez  
**Secretario de Facultad**



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo monográfico, primeramente al Dios todopoderoso por haberme iluminado siempre en este camino azaroso, guiando mis pasos en los momentos más difíciles desplegando su inmenso amor sobre mí, me brindó la fortaleza para continuar adelante a pesar de los tropiezos; recordándome que él es ese ser invisible que siempre está a nuestro alrededor para derramar su espíritu sobre nosotros, aunque no lo merezcamos.

A mi madre Otilia Lucía Ramírez Garay, quien siempre estuvo a mi lado apoyándome en todo momento y en toda circunstancia con su gran espíritu guerrero e inquebrantable que sólo una madre suele tener.

A la memoria de mi padre René Marín Casablanca Baldowsky, quien partió de este mundo terrenal y está en la presencia de Dios. A mis hermanos Carlson Kay, Carlson Louis y Horeb que también partieron de este mundo terrenal y están junto a mi padre. A todos ellos gracias por su tiempo aquí en la tierra y aunque no estén conmigo los recordaré siempre.

*Valeska Lucía Marín Ramírez*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar a Dios que es mi torre fuerte, por haber sido mi guía en todo momento, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Juana Toruño Parrales y Santos Pérez Mendoza, por su amor, confianza y oraciones, por darme la vida, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes.

A mi Hermana, Aracellys Pérez Toruño por estar conmigo y ser parte fundamental en este sueño.

*Abraham Ezequiel Pérez Toruño.*

## NOMENCLATURA

$E_{\text{Proy.}}$ : Energía estimada proyectada

$E_{\text{Actual}}$ : Energía actual estimada

$r$ : tasa de crecimiento

$P_{\text{gen}}(W)$ : Potencia generada

$f_1$ : Factor de corrección utilizado en Nicaragua para la  $P_{\text{gen}}$

$E_{\text{tot}}(Wh)$ : Energía total estimada

$\Delta t_{\text{sol}}(h)$ : horas sol en un día (horas pico) se elige la más crítica

$f_2$ : Factor de corrección por pérdidas del sistema

$P_{\text{módulo}}(W)$ : Potencia de cada módulo FV

$V_{\text{mín.}}$ : Tensión mínima del módulo

$V_{\text{máx.}}$ : Tensión máxima del módulo

$\Delta V^+$ : Máximo incremento positivo de la tensión debido al coef. de temp.

$\Delta V^-$ : Máximo incremento negativo de la tensión debido al coef. de temp.

$\alpha_{\text{Voc}}$ : Coeficiente de temperatura debido a la tensión de circuito abierto

$T_{\text{c.estandar}}$ : Temperatura en condiciones estandar (25°C)

$\Delta T^+$ : Máximo incremento positivo de la temperatura de trabajo del módulo

$\Delta T^-$ : Máximo incremento negativo de la temperatura de trabajo del módulo

$N_s$ : Número de módulos en serie

$V_{\text{máx.inversor}}$ : Tensión máxima de entrada al inversor

$V_{\text{mín.inversor}}$ : Tensión mínima de entrada al inversor

$V_{\text{máx.}}$ : Tensión máxima del módulo

$V_{\text{mín.}}$ : Tensión mínima del módulo

$N_p$ : Números de módulos en paralelo

$I_{\text{sc}}$ : Intensidad de cortocircuito del módulo solar

$I_{\text{máx.inv.}}$ : Intensidad máxima de entrada en el inversor

$I_{\text{máx.entrada}}$ : Intensidad máxima de entrada del inversor en DC

$I_{\text{máx.salida}}$ : Intensidad máxima de salida del inversor en AC

$N_{\text{T.módulos}}$ : Número total de módulos con  $f_2$



**$N_S$** : Número de módulos en serie

**$N_P$** : Número de módulos en paralelo

**$\beta_{opt}$** : Ángulo óptimo de inclinación

**$\phi$** : Latitud del edificio de la FTI

**$d_{min}$** : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras (m)

**$L$** : Longitud del panel (columna de módulos en paralelo) (m)

**$h$** : altura solar al medio día (m)

**$\beta$** : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal (°)

**$\Theta$** : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal (°)

**$a$** : Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro (m)

**$b$** : Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal (m)

**$S$** : Sección del conductor

**$I$** : Intensidad del módulo en amperios ( $I_{mp}$ )

**$\gamma$** : Conductividad del conductor a 90°C para aislamiento XLPE

**$L$** : Longitud del conductor

**$U$** : Caída de tensión en voltios

**$S$** : Sección del conductor

**$I$** : Intensidad de salida del panel

**$U$** : Caída de tensión en voltios

**$P_{N.Inv.}(W)$** : Potencia nominal del inversor

**$V_L(V)$** : Tensión de línea a la salida de corriente alterna del inversor

**$\cos \phi$** : Factor de potencia del inversor

**$I_{N.Inv.}$** : Corriente nominal del inversor

**$L_M(m)$** : Longitud del conductor de conexión entre el inversor al resto de componentes en corriente alterna

**$\%cdt$** : Porcentaje de caída de tensión en AC

**$I_{N.Inv.}(A)$** : Corriente nominal del inversor sobredimensionada

**$S_M(mm^2)$** : Sección del conductor

**$V_L(V)$** : Tensión de línea

**F<sub>TR</sub>**: Factor adimensional correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante.

**F<sub>α</sub>**: Factor adimensional que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura.

**V<sub>R</sub>**: Velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

**C<sub>P</sub>**: Coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura según el RNC-07

**V<sub>D</sub>**: Velocidad de diseño a la altura de la estructura

**W**: Peso total de la estructura de una armadura

**A<sub>tributaria</sub>**: Área tributaria

**β**: Ángulo de inclinación de los paneles

**M<sub>A</sub>**: Momento en el punto A

**M<sub>C</sub>**: Momento en el punto C

**W**: Peso total de la estructura de una armadura

**d<sub>AB</sub>**: distancia AB

**d<sub>BC</sub>**: distancia BC

**M<sub>máx.</sub>**: Momento máximo

**d<sub>AB</sub>**: Distancia AB

**q<sub>neto</sub>**: Esfuerzo neto

**q<sub>A</sub>**: Esfuerzo admisible del suelo

**γ<sub>concreto</sub>**: Peso específico del concreto

**h<sub>Total del bloque</sub>**: Altura total del bloque

**A<sub>mín.</sub>**: Área mínima del bloque para que pueda soportar el peso establecido

**F<sub>seguridad</sub>**: Factor de seguridad

**q<sub>neto</sub>**: Esfuerzo neto

**V<sub>(8)bases</sub>**: Volumen de las 8 bases por estructura

**V<sub>(1)base</sub>**: Volumen de cada base

**V<sub>(88)bases</sub>**: Volumen de las 88 bases totales

**N° de estructuras**: Número de estructuras de soporte

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias infinitas a Dios, por brindarme la fortaleza y la perseverancia para finalizar este ciclo de mi formación universitaria e iniciar una nueva etapa en mi vida.

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por mi madre Otilia Lucía, a la memoria de mi padre René quien partió de este mundo gracias por los momentos que compartimos juntos y a todos mis hermanos que están en la presencia de Dios. A mi hermana Arlen Viky y a mis hermanos Efrén Aldanaro, Fhinter Alexander y su familia, porque han contribuido significativamente para la realización de este arduo trabajo.

Al ingeniero Donald Pérez Palma, por haber sido mi maestro en el aula de clase y además por asesorarme con sus valiosas aportaciones como guía y tutor y su entrega desinteresada como apóstol de la enseñanza fue un faro que me guió y ayudó a crecer como persona y como profesional. A todos mis maestros mis respetos y mi eterno agradecimiento.

Recordaré siempre el apoyo incondicional de mis amigas y amigos: Yamileth Silva, Becksy Cajina, Ileana Mora, Milena Córdoba, Raíza Montoya, María Hernández, Karla Vargas, Valeria Araúz, Marcela Martínez, Ing. Wilfredo Palma, Abrahan Pérez, Jorge Navarro y tantos otros cuya lista es inmensa para mencionarlos a todos. Para todos ellos mi eterna gratitud.

A los buenos amigos y compañeros de trabajo de la empresa ALBA TRANSPORTE S.A.: Lic. Priscila Ulloa, Lic. María José Rivera, Lic. Maribel Tercero, Lic. Helen Cruz, Ing. Jorge Cardoza, Lic. Miguel Mendoza, Lic. Elder Román, Lic. Álvaro Mojarro que siempre me apoyaron e instaron a seguir adelante para cumplir mis metas y a mis jefes Ing. Orlando Rojas, Ing. Lázaro Cornejo y al Ing. Julio Villavicencio por darme la oportunidad y confianza de pertenecer a esa gran familia de trabajo. A todos ellos gracias por el gran aprecio, respeto y cariño que siempre me tuvieron a pesar del corto tiempo que estuve con ellos.

*Valeska Lucía Marín Ramírez*

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional y alentarme a seguir adelante, por los valores que me han inculcado y por haberme dado una oportunidad de tener una excelente educación. Sobre todo por ser un ejemplo de vida.

A toda mi familia, de manera especial a Esther Estrada y Jorge Toruño que siempre han estado ahí para darme su amor y apoyo cuando lo necesité.

A mis maestros, les doy infinitas gracias, por la enseñanza durante estos cinco años, que son la base para mi desarrollo profesional.

A mi amiga y compañera Valeska Marín por todo su apoyo, confianza y por haber compartido todos esos pequeños y buenos momentos que jamás se olvidaran.

A nuestro tutor Ing. Donal Pérez Palma por el apoyo, conocimiento y disposición que nos brindó durante todo nuestro trabajo.

A mis amigos por haber hecho de mi estancia universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

*Abraham Ezequiel Pérez Toruño.*



## **RESUMEN**

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es un tipo de instalación en la que intervienen tres elementos: los paneles fotovoltaicos, el inversor y la línea eléctrica de la red. El generador fotovoltaico se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través del inversor, inyectando la energía producida en esta. Este estudio consiste en el dimensionamiento, diseño, instalación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red nacional, para alimentar el 30% de la demanda energética estimada del edificio de la F.T.I del Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Este estudio se divide en cinco capítulos: En el primer capítulo se describe el estudio de consumo energético de la FTI. El propósito de esta descripción es conocer los parámetros que determinan la ubicación del estudio y la potencia generada del mismo. Para hacer una correcta selección de los elementos para el diseño del sistema conectado a red.

En el segundo capítulo se describe el sistema, los cálculos necesarios para el dimensionamiento y la elección de los equipos, el cableado y las protecciones.

En el tercer capítulo se estudia el diseño de la estructura de soporte determinando de tal forma la velocidad de diseño y sobre todo el diseño de fuerza para el peso que soportara dicha estructura.

En el cuarto capítulo se presenta la propuesta de mantenimiento donde se incluirán las rutinas y actividades a realizarse según sean sus prioridades, así como los periodos de ejecución teniendo en cuenta el mantenimiento preventivo, correctivo y el predictivo para el tipo de problemática presentada en la instalación fotovoltaica.

En el quinto capítulo se describe la viabilidad económica del sistema fotovoltaico, además se realizó el cálculo del costo aproximado del sistema fotovoltaico, la generación de energía eléctrica propuesta con los paneles durante su vida útil de 25 años y se determinara el plazo de recuperación de la inversión mediante indicadores económicos propios de este tipo de proyecto.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	3
ANTECEDENTES .....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	6
MARCO TEÓRICO .....	7
CAPÍTULO I.....	28
ESTUDIO DE CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE LA F.T.I.....	29
1.1. Ubicación del estudio.....	29
1.2. Consumo energético actual estimado del edificio de la FTI.....	30
1.2.1. Cálculo de la potencia generada según la energía estimada .....	31
CAPÍTULO II.....	33
CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED .....	34
2.1. Cálculo del número de paneles solares necesarios para generar una potencia de 121,370 W .....	34
2.1.1. Cálculo de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico .....	36
2.1.1.1. Cálculo de energía generada por el arreglo fotovoltaico.....	37
2.2. Cálculo de módulos en serie.....	37
2.3. Cálculo de módulos en paralelo.....	39
2.4. Determinación del número de los inversores .....	40
2.5. Recalculando el número total de módulos .....	42
2.6. Cálculo de la inclinación, orientación y distancia entre paneles .....	45
2.7. Descripción de los componentes del sistema fotovoltaico conectado a red .....	51
2.7.1. Elementos de protección del circuito .....	55
2.8. Cálculo de la sección de los conductores para el sistema fotovoltaico..	59
2.8.1. Conductores para la sección entre módulos (string) corriente continua.....	59
2.8.2. Conductores para la sección de salida del panel a la entrada del inversor (corriente continua) .....	60
2.8.3. Conductor para el tramo entre la salida del inversor y el resto de componentes en corriente alterna .....	61

2.8.4. Longitud total del cableado del sistema fotovoltaico conectado a red	62
CAPÍTULO III .....	65
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE .....	66
3.1. Cálculo de la estructura de soporte .....	66
3.1.1. Refuerzo de estructura .....	69
3.2. Cálculo del volumen por cada base de concreto .....	73
3.2.1. Cálculo del volumen de las 8 bases por cada estructura .....	73
3.2.2. Cálculo del volumen de las 88 bases para las 11 estructuras de soporte	74
CAPÍTULO IV.....	75
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DEL SFCR .....	76
4.1. Mantenimiento preventivo .....	76
4.2. Mantenimiento correctivo .....	78
4.3. Mantenimiento predictivo .....	78
CAPÍTULO V.....	79
DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO .....	80
5.1. Total del material utilizado .....	80
5.2. Cálculo de la energía eléctrica propuesta con paneles fotovoltaicos....	82
5.3. Costo por consumo de la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos...	83
5.3.1. Amortización del sistema fotovoltaico .....	84
CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87
Anexo A .....	89
Tablas .....	89
Anexo A1: Consumo eléctrico estimado en la planta baja .....	90
Anexo A2: Consumo eléctrico estimado en la planta alta .....	92
Anexo A3: Consumo estimado en el área exterior .....	93
Anexo A4: Consumo total estimado según levantamiento de censo de carga....	94
Anexo A5: Consumo de energía por cada área del edificio .....	94
Anexo A6: NASA meteorología de superficie y la energía solar .....	95
Anexo A7: Selección del calibre del conductor .....	97



Anexo A8: Conductividades $\gamma$ (en $m/\Omega \cdot mm^2$ ) para el cobre y el aluminio, a distintas temperaturas.....	98
Anexo A9: Factores de fabricación de concreto.....	98
Anexo B .....	99
Gráficas.....	99
Anexo B1: Consumo eléctrico por cada área del edificio .....	100
Anexo B2: Gráfica de irradiación solar.....	101
Anexo B3: Gráfica del comportamiento mensual de la radiación global diaria..	102
Anexo C .....	103
Figuras .....	103
Anexo C1: Mapa de Radiación Solar en Nicaragua .....	104
Anexo C2: Factura energética de la UNI-RUPAP del mes de Julio 2016 NIS-2032582 .....	105
Anexo D .....	106
Cotizaciones .....	106
Anexo D1: Cotización de los componentes del SFCR .....	107
Anexo D2: Cotización de los materiales para la base de la estructura .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

Tabla 1. 1: Descripción de la tarifa eléctrica de la universidad .....	30
Tabla 1. 2: Horas pico en cada mes del año .....	32

### CAPÍTULO II

Tabla 2. 1: Características principales del módulo solar .....	35
Tabla 2. 2: Pérdidas del sistema FV .....	36
Tabla 2. 3: Características principales del inversor.....	41
Tabla 2. 4: Resumen de los resultados más significativos del SFCR .....	64

### CAPÍTULO III

Tabla 3. 1: Dimensiones de los bloques de concreto.....	73
---	----

### CAPÍTULO V

Tabla 5. 1: Costo de los componentes para la instalación del SFCR .....	80
Tabla 5. 2: Material utilizado para la construcción de las 88 bases de concreto. 81	

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Fig. 1. 1: Ubicación del Edificio de la FTI .....	29
---	----

### CAPÍTULO II

Fig. 2. 1: Módulo FV policristalino MAX POWER-CS6X-310P .....	34
Fig. 2. 2: Inversor SMA IBERICA - STP 20000TL-30.....	40
Fig. 2. 3: Arreglos de módulos FV por cada inversor .....	43
Fig. 2. 4: Diagrama de conexión del panel fotovoltaico (corriente directa) .....	44
Fig. 2. 5: Orientación e inclinación del módulo fotovoltaico.....	46
Fig. 2. 6: Distancia mínima entre aristas de paneles .....	47
Fig. 2. 7: Panel fotovoltaico con 45 módulos.....	48
Fig. 2. 8: Distancia entre aristas inferiores .....	50
Fig. 2. 9: Distancia entre paneles.....	50
Fig. 2. 10: Inversores SMA-IBERICA Sunny Tripower-STP-20000TL.....	52
Fig. 2. 11: Caja general de protección de la empresa distribuidora .....	54
Fig. 2. 12: Protección (Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC) .....	56
Fig. 2. 13: Protección (Delta Lightning Arrestor LA 602-R –AC) .....	56
Fig. 2. 14: Diagrama unifilar del SFCR de la FTI .....	58
Fig. 2. 15: Sección del conductor .....	59

### CAPÍTULO III

Fig. 3. 1: Estructura de montaje de los paneles fotovoltaicos por inversor .....	67
Fig. 3. 2: Diagrama de fuerzas y momentos .....	69
Fig. 3. 3: Diagrama de fuerzas sobre los bloques de concreto .....	71

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria (FTI) cuya estructura se ubica en el Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería en Managua, capital de Nicaragua. El uso de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica conectado a red es trascendental para disminuir la dependencia energética que tiene la Universidad de la red nacional, y se plantea como alternativa para redefinir la estructura de costos de operación de dicho edificio mediante el uso de energía amigable con el medio ambiente, contribuyendo a cambiar la matriz energética del país de manera sostenible.

La energía solar fotoeléctrica, o fotovoltaica, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento se encuentra a la vanguardia de las energías renovables; por lo que se prevé un rápido y significativo crecimiento de su implantación, basado en el actual desarrollo de la tecnología, el interés de los gobiernos en el mundo, la reducción de costos y el compromiso medioambiental de los países más desarrollados.

En el medio plazo, se estima que habrá una reducción importante de costos debido a una mejora de la eficiencia de las tecnologías actuales, a la optimización de los procesos de fabricación, a la aplicación de economías de escala y al desarrollo de nuevas tecnologías.

En Nicaragua, se desarrollan programas como el Euro Solar ejecutado con el apoyo de la Unión Europea (UE) y el Ministerio de Energía y Minas (MEM), para la generación de energía solar a través de Sistemas fotovoltaicos con el fin de llevar la energía eléctrica a las comunidades más apartadas e inaccesibles del país. Este programa se implementa en los municipios de Siuna, Rosita, Bonanza, Prinzapolka, Waspam y Puerto Cabezas de la Región Autónoma del Atlántico

Norte (RAAN) donde se han creado alrededor de 42 sistemas fotovoltaicos, beneficiando a 62 mil habitantes. En el año 2013, entró en funcionamiento la planta solar de la Trinidad que abastece al sector rural del municipio de Diriamba. A partir del año 2007 la incorporación de esta tecnología al entorno urbano está facilitando su difusión y desarrollo, el sector industrial ha apostado por la energía solar fotovoltaica tal es el caso de la construcción de la planta solar ASTRO en Tipitapa.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un Sistema Fotovoltaico Conectado a Red para el edificio de la FTI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios), para la disminución del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Objetivos Específicos**

1. Estimar la demanda actual de energía eléctrica en el edificio de la FTI.
2. Realizar los cálculos y el dimensionamiento apropiado de los elementos del sistema.
3. Seleccionar el tipo de tecnología más adecuada a utilizar mediante un análisis comparativo entre las distintas tecnologías disponibles en el mercado de acuerdo a los criterios técnicos, normativas y las condiciones encontradas en el lugar de instalación.
4. Establecer un programa de mantenimiento de la instalación fotovoltaica.
5. Determinar la viabilidad económica del proyecto de diseño del sistema fotovoltaico.

## ANTECEDENTES

En Nicaragua al igual que en el resto de Centroamérica durante el período de 1970 a 2000, la energía fotovoltaica tuvo un desarrollo casi nulo. A partir del año 2000 en adelante la energía fotovoltaica ha crecido en el país, en febrero de 2013 se inauguró la primera planta solar fotovoltaica conectada a red con una capacidad de generación de 1.38 MW y 5880 paneles solares en la comunidad La Trinidad en el municipio de Diriamba. “La Universidad Central de Nicaragua (UCN) invirtió 182,000 dólares en la instalación de 120 paneles solares en su Campus Central. Los paneles solares abastecerán a toda la universidad, reduciendo 70% de su factura eléctrica”. (ENERGÍA LIMPIA XXI, 2015)

“El Complejo Tecnológico La Salle de León instaló en el año 2012 paneles solares para abastecer de energía eléctrica algunos laboratorios y aulas de clase de dicho centro. La Universidad Nacional Agraria (UNA) creó en el año 2009 un laboratorio para el desarrollo de energías renovables como la fotovoltaica y publicó una guía con el apoyo brindado por la secretaria general de la organización de estados americanos (OEA) para la instalación de sistemas fotovoltaicos tanto autónomos como conectados a red en pequeña escala logrando desarrollar varios proyectos sobre todo en el área rural y en alguna de sus sedes en las ciudades de Juigalpa y Estelí”. (Universidad Nacional Agraria, 2013)

“La Universidad Centro Americana (UCA) cuenta con dos estaciones de observación solar, impulsando la utilización de fuentes energéticas renovables, en particular la solar, en Nicaragua y de la región, para contribuir al desarrollo sostenible” (Universidad Centro Americana, 2016). “Actualmente en el municipio de Tipitapa se construye el parque fotovoltaico más grande de Nicaragua que tendrá al finalizarse una capacidad de generación de 3.1 MW y suministrará electricidad al parque industrial Zona Franca Astro. Se estima que cubra aproximadamente el 30% del consumo de electricidad de dicho complejo”. (Tomado de pv magazine Fotovoltaica, Mercados y Tecnología, 2014)

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el edificio de la Facultad de Tecnología de Industria (FTI) ubicado en el Recinto universitario Pedro Araúz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería, consume la energía eléctrica de la red nacional. En Nicaragua, un alto porcentaje de la energía producida proviene de la utilización de combustibles fósiles altamente limitados y contaminantes; con este proyecto pretendemos disminuir el consumo de la red eléctrica comercial.

La Energía Solar Fotovoltaica aporta grandes beneficios ya que es una fuente limpia e inagotable puesto que su fuente es el Sol, presenta bajo impacto medioambiental lo que la convierte en una energía de calidad. Una de las principales acciones positivas que supone su uso es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero.

Al producir el edificio su propia energía eléctrica se reduce la dependencia de la red nacional lo que tiene un gran impacto económico y directo en el costo de la factura eléctrica tradicional para la universidad. Con respecto a otras fuentes de energía como la hidroeléctrica, la eólica, biomasa, geotérmica entre otras, la producción de energía solar fotovoltaica reduce significativamente los factores de pérdida por transmisión y distribución, ya que en el mismo lugar donde se genera se consume, lo que disminuye los costos de producción.

Nicaragua cuenta con un gran potencial energético del recurso solar debido a su posición geográfica en particular la ciudad de Managua que tiene un equivalente de cerca de 6 horas de plena radiación solar diario con un bajo índice de nubosidad especialmente en la estación seca del año. También en Nicaragua debido a problemas técnicos fundamentalmente, falla el sistema eléctrico con bastante frecuencia lo que causa atrasos, daños en los equipos, transformadores y demás componentes eléctricos por lo que este sistema disminuirá tales efectos ya que será de uso diario.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La actual crisis energética internacional demanda la utilización urgente de fuentes de energía renovables y la actual matriz energética de nuestro país, dependiente mayoritariamente del petróleo, urge la necesidad de explorar iniciativas energéticas aprovechando los valiosos recursos naturales, entre ellos el sol.

Aun cuando el sistema eléctrico de Nicaragua ha logrado en los últimos cinco años una buena estabilidad aún persisten apagones de energía por razones técnicas y administrativas que afectan la calidad de la enseñanza y la vida útil de los equipos utilizados en el Edificio de la Facultad de tecnología de la industria (FTI) de la UNI-RUPAP.

La UNI-RUPAP no cuenta con un sistema de autogeneración de energía eléctrica utilizando fuentes renovables que le aseguren una buena estabilidad energética y cambios en la estructura de costos ya que toda la energía que se consume se compra a la empresa distribuidora. Si no que depende del suministro de la red eléctrica nacional lo que implica el consumo de energía eléctrica producida a partir de fuentes contaminantes como los hidrocarburos y además la exposición a los cortes de energía eléctrica.

## MARCO TEÓRICO

### **Energía renovable**

“Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocarburantes”. (Wikipedia enciclopedia libre, 2016)

### **Protocolo de Kyoto**

“Es un tratado internacional para responder a la amenaza del cambio climático aprobado por la ONU en 1997 y ratificado por 156 países, el cual tiene tres objetivos: conseguir reducciones de emisiones al costo más efectivo posible, facilitar a los países desarrollados el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones y apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo a través de la transferencia de tecnologías limpias”. (Carbon trade watch, 2016)

### **Acuerdo de París**

“Pasadas las siete de la noche del sábado 12 de diciembre de 2015 delegaciones de 195 países y la UE aprobaron el Acuerdo de París, el primer pacto universal de lucha contra el cambio climático.

El acuerdo establece como objetivo que el calentamiento global eleve la temperatura "muy por debajo de los 2 grados" a finales del presente siglo. Como novedad, la inclusión más aplaudida, se pide expresamente a los países desarrollados realizar esfuerzos para limitar la subida de la temperatura a 1,5 grados respecto a niveles preindustriales”. (Revista 20 minutos TIERRA VIVA, 2016)

## **Energía solar**

“La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. Es una de las llamadas energías renovables, incluidas en el grupo de energías no contaminantes, también conocidas como energías limpias o verdes. Según la conversión de la radiación solar, esta energía se puede clasificar en:

### **➤ Energía solar fotovoltaica**

Consiste en la obtención de electricidad directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada célula solar.

### **➤ Energía solar térmica**

Convierte la radiación solar en calor que es transferida a un medio para generar trabajo. Por ejemplo, este calor se usa para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, cocinas, secar granos o destruir desechos peligrosos, entre otras diversas aplicaciones”. (Gmmontes.es, 2014)

## **Radiación solar**

“El Sol es una estrella que en cuyo interior tiene lugar una serie de reacciones de fusión termonuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en una gran energía. Esta energía liberada se transmite al exterior en forma de ondas electromagnéticas mediante la denominada radiación solar”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

## **Posición solar**

“El diseño adecuado de cualquier instalación solar para predecir la energía disponible en un determinado lugar y en un determinado momento. Para que eso sea posible se necesita conocer qué relaciones existen entre la posición del Sol y de la Tierra y cómo influyen en la radiación que esta recibe cada día debido a que la trayectoria del Sol no es fija sino que va cambiando a lo largo de las horas

diarias y conforme pasan las estaciones del año”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Efecto fotoeléctrico o fotovoltaico**

“El efecto fotoeléctrico es un fenómeno físico que consiste en la transformación de la radiación luminosa en energía a las diferentes longitudes de onda del espectro solar, mediante un dispositivo conocido como célula solar fotovoltaica”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Célula solar fotovoltaica**

“La célula solar se considera el dispositivo básico para el aprovechamiento del efecto fotovoltaico. Es un dispositivo electrónico no lineal basado en un modelo de enlace covalente y de bandas de energía, con uniones p-n donde la región iluminada es la zona n, permitiendo obtener energía eléctrica en forma de corriente continua”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Panel fotovoltaico**

“Debido a que los valores de voltaje de la célula son muy bajos para el común de las aplicaciones eléctricas, sobre los 0,5 V de tensión de operación normal en células de silicio, estas se suelen asociar en serie (string), paralelo o combinaciones serie-paralelo conformando una estructura conocida como panel fotovoltaico”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas**

“Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en energía eléctrica”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar en tres grandes grupos:

#### ▪ **Sistemas aislados**

“Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son, como su propio nombre indica, sistemas que no están conectados a la red eléctrica. Pueden ser de dos tipos:

- Con un sistema de baterías que sean capaces de almacenar la energía y regular así la variación entre la generación y el consumo.
- Sin baterías y con la utilización de la energía de forma directa para distintos usos como el bombeo de agua. La potencia suele estar entre los 600 y 3500 Wp<sup>1</sup>.

El suministro puede a su vez ser en corriente continua o en alterna. Son de mucho menor tamaño que las conectadas a red ya que la potencia que ofrecen es mucho menor. Entre sus numerosas aplicaciones, se usan para demandas aisladas o concretas, y que no necesitan tanta energía eléctrica. Otro de sus usos es para satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en un lugar determinado donde no existe red eléctrica de distribución o ésta es de difícil acceso, como lo son las zonas rurales o de montaña con escasa población”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

#### ▪ **Sistemas conectados a red**

“Los sistemas conectados a red no tienen sistema de acumulación ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. Tienen como objetivo fundamental generar energía eléctrica, e inyectarla en su totalidad a la red eléctrica de distribución. Estas instalaciones se suelen ubicar en tejados, estructuras fotovoltaicas en edificios, o a modo de grandes centrales de generación fotovoltaica como son los denominados huertos solares”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

---

<sup>1</sup> Unidad de medida energética Watt Pico que mide la potencia máxima de un sistema fotovoltaico.



- **Sistemas híbridos o combinados**

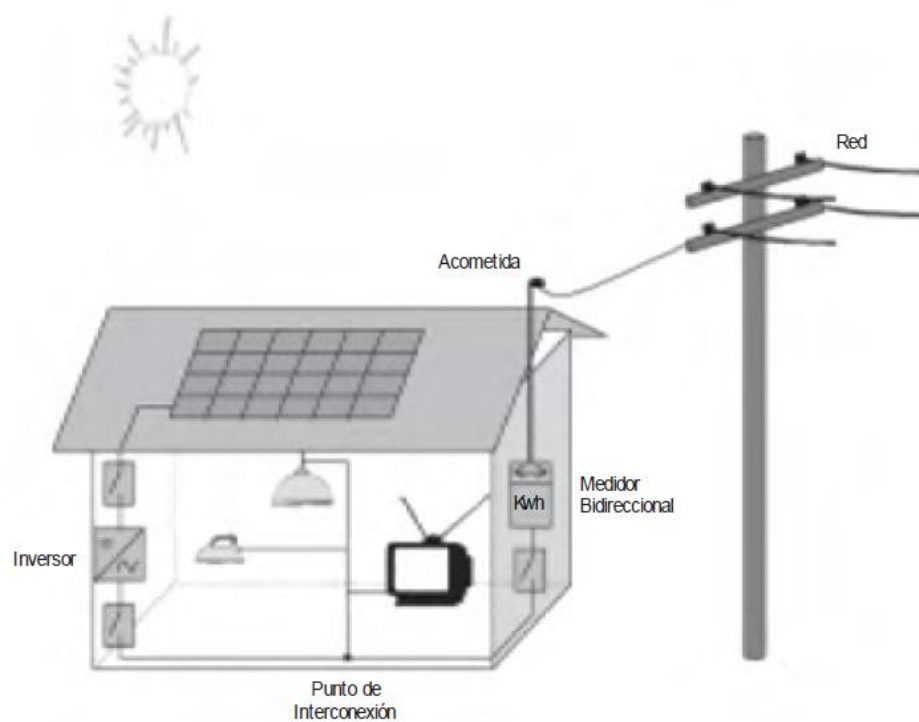
“Los sistemas combinados son instalaciones con otro tipo de generación de energía eléctrica a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad en diferentes épocas del año. Su número es notablemente inferior a las anteriores y en ellas se complementa una instalación fotovoltaica aislada con otro tipo de recurso energético como los grupos electrógenos o aerogeneradores”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Sistemas fotovoltaicos conectados a red**

“Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico, característico de este tipo de instalaciones. Así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor, en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la tensión de la red. En la figura 1 se presenta el esquema tipo de un sistema fotovoltaico conectado a red”. (Universidad de Piura, 2013)

Fig. 1: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.



Fuente: Boletín IIE, octubre – diciembre del 2003 sistemas fotovoltaicos conectados a red de Raúl Gonzáles G. Humberto R. Jiménez G. y Javier Lagunas M.

Las aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red pueden dividirse en dos grandes subgrupos:

#### ✓ **Sistemas fotovoltaicos en edificios**

“Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios (SFIE) o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red (EFCR) (Building Integrated Photovoltaic Systems, BIPV).

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales, etc) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas y otros materiales de construcción.

Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas. Las fachadas solares son elementos enormemente fiables que aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad”. (Universidad de Piura, 2013)

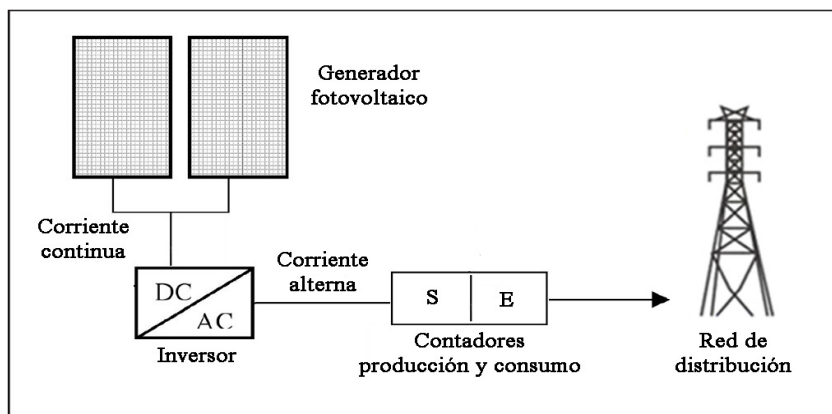
### ✓ Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas

“Los huertos fotovoltaicos son agrupaciones de instalaciones fotovoltaicas individuales, pertenecientes a distintos titulares, situados en un terreno o parcela que reúne unas condiciones óptimas para producir energía fotovoltaica”. (Universidad de Piura, 2013)

### Componentes de un sistema solar fotovoltaico conectado a red

“Dentro de una instalación solar fotovoltaica tenemos varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red (Ver Figura 2)”. (Universidad de Piura, 2013)

Fig. 2: Elementos generales de una instalación fotovoltaica conectada a red



## Paneles solares

“Los paneles solares o módulos fotovoltaicos son estructuras formadas por la interconexión de células solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico se produce al incidir la radiación solar sobre los materiales definidos como semiconductores extrínsecos. Cuando sobre la célula solar incide la radiación, aparece en ella una tensión análoga a la que se produce entre los bornes de una pila (Ver Figura 3)”. (Universidad de Piura, 2013)

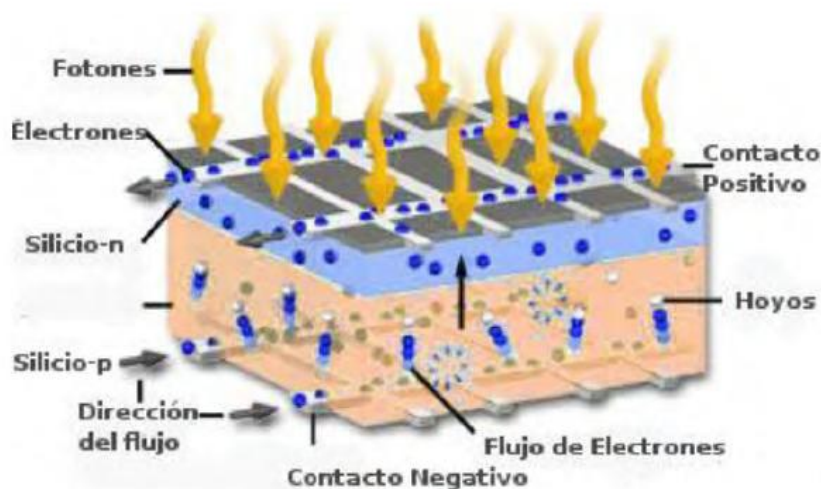


Fig. 3: Efecto Fotovoltaico

Para calcular el número de paneles solares según (Abella, 2001) se aplican las siguientes ecuaciones:

$$P_{\text{gen}}(W) = f \cdot \frac{E_{\text{tot}}(Wh)}{\Delta t_{\text{sol}}(h)} \quad \text{Ec. 1}$$

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{P_{\text{gen}}(W)}{P_{\text{panel}}(W)} \quad \text{o} \quad N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{P_{\text{gen}}(W)}{P_{\text{panel}}(W)} * f \quad \text{Ec. 2}$$

Con  $f= 1.1$  ó  $f= 1.5$

Dónde:

$P_{gen}(W)$ : Potencia generada en Watt.

$f$ : Factor de corrección por pérdidas en la generación, transmisión y distribución de la energía.

$E_{tot}(Wh)$ : Energía solar total recibida en Watt hora.

$\Delta t_{sol}(h)$ : Cantidad de horas sol en un día.

Actualmente, en el mercado existen diversos tipos de células que dan lugar a los distintos tipos de módulos o paneles:

➤ **De silicio monocristalino**

“Están formadas principalmente a partir de un único tipo de cristal de silicio que es fundido y, al enfriarse, se solidifica formando una red cristalina homogénea casi con muy pocas imperfecciones dotando al material una buena conducción eléctrica. Estas células son generalmente de color azul oscuro brillante y es el que proporciona mayor eficiencia en la conversión eléctrica (~ 17% de rendimiento). El inconveniente de este material es que el proceso de cristalización es largo y costoso (Ver Figura 4)”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

Fig. 4: Panel de silicio monocristalino.



Fuente: [www.isofoton.com](http://www.isofoton.com)

### ➤ De silicio policristalino

“Son muy similares a las anteriores pero en éstas, el silicio de partida está formado por un conglomerante de estructuras cristalinas.

El proceso de cristalización no es tan cuidadoso solidificando ahora de forma heterogénea. Debido a esto, disminuye su conductividad eléctrica y su rendimiento baja hasta el 14%. No obstante, como se reduce el tiempo y el costo de fabricación, son más baratas (Ver Figura 5)”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

Fig. 5: Panel de silicio policristalino.



Fuente: [www.iso-foton.com](http://www.iso-foton.com)

### ➤ De silicio amorfo

“Es una estructura cristalina no definida que contiene muchos defectos tanto de estructura como de enlaces (gran cantidad de huecos), lo que provoca una disminución considerable en la eficiencia del material. Para contrarrestar esta baja eficiencia, se le añaden átomos de hidrógeno con el fin de facilitar el movimiento de los electrones cubriendo esos huecos libres que posee defectuosamente el silicio amorfo. Con este material se fabrican láminas flexibles que pueden ser muy útiles en muchas aplicaciones pero su rendimiento no supera el 10%”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### ➤ **Módulos de otros materiales**

“Para reducir los costos de producción y salir de la posible escasez de silicio se están desarrollando células solares fabricadas con otros materiales. Los módulos de mayor rendimiento son los de arseniuro de galio (25 %), aunque también se están comercializando los de telurio de cadmio (16%) y diseleniuro de cobre en indio (17%). Existen también los llamados paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos alcanzándose redimiendo del 35%”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Parámetros de funcionamiento de un módulo fotovoltaico**

“Para poder entender el funcionamiento, tanto de una célula como de un módulo solar, es conveniente definir los siguientes parámetros de funcionamiento”: (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Intensidad de cortocircuito, ( $I_{sc}$ )**

“Es la intensidad de la corriente eléctrica que se obtiene de la célula cuando, en ausencia de cargas externas y tras haber sido cortocircuitada en sus terminales, la tensión entre bornes es nula. Constituye la máxima corriente que puede obtenerse”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Tensión en circuito abierto, ( $V_{oc}$ )**

“Es la tensión para la que los procesos de recombinación igualan a los de generación y por lo tanto, la corriente extraída de la célula es nula. Constituye la máxima tensión que puede obtenerse de la célula, cuando no hay conectado ningún consumo y la intensidad que circula es nula.

Cabe mencionar que tanto en cortocircuito como en circuito abierto la potencia generada es nula”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Potencia máxima o potencia pico, ( $P_p$ )**

“Es la potencia máxima que puede generar una célula fotovoltaica bajo unas condiciones estándar (Irradiancia:  $1000 \text{ W/m}^2$ , A nivel del mar, Temperatura de

célula: 25°C) de la radiación incidente, y se obtiene como el producto de la tensión pico ( $V_p$ ) y de la intensidad pico ( $I_p$ )". (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

La Potencia pico según (Universidad de Piura, 2013) se determina de la siguiente manera:

$$P_p = V_p * I_p \quad \text{Ec. 3}$$

### **Estructura soporte**

"Los módulos fotovoltaicos que forman el generador, están montados sobre una estructura metálicas comúnmente de acero galvanizado y aluminio, cuyo objetivo es el de sujetarlos y optimizar la radiación solar". (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

En este apartado se describen las estructuras posibles a utilizar:

#### **❖ Estructura fija**

"La posición más habitual y más sencilla de los paneles es la fija. En este tipo de diseños, los paneles, agrupados, se fijan a una estructura soporte que asegure la orientación e inclinación definida por cálculo. Asimismo, debe garantizar una sujeción segura de los equipos y facilitar el montaje y el conexionado.

Los materiales más comunes son el acero galvanizado y el aluminio ya que son estructuras que trabajan a intemperie y a larga duración.

Por último mencionar que la estructura fija es la más barata pero presenta menor rendimiento en relación con el costo. Esto se debe a que la estructura siempre mantiene la misma inclinación y no aprovecha la radiación solar como los seguidores solares. Una ventaja que presenta es que permite una mayor relación potencia por unidad de superficie debido a que hay que dejar menos distancias entre filas de paneles". (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)



La óptima inclinación ( $\beta_{opt}$ ) de los paneles, para conseguir la máxima irradiación solar, se calcula a partir de la siguiente ecuación, según (Abella, 2001):

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69\phi \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

$\phi$ : Latitud del edificio de la FTI (12° 08' 10.89" N)

#### ❖ Seguidores solares

“Son estructuras con soportes móviles o seguimiento solar donde su función va mucho más allá de la sujeción de los paneles. Se busca en estos casos un incremento en la recepción de energía que, como es de suponer, implica también un aumento del rendimiento y del costo de la instalación. Las estructuras llevan incorporadas una unidad de control que posiciona el eje en la orientación óptima determinada mediante un programa que lleva en una memoria interna”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

#### **Cableado baja tensión y cajas de conexión**

“Como ya hemos mencionado anteriormente, la salida de los paneles es corriente continua. La agrupación de paneles dará una salida en corriente y tensión compatible con el inversor seleccionado por lo que la sección de los cables del generador fotovoltaico se determinará considerando su longitud para que no se produzca cizalladura y evitando pérdidas de tensión y calentamientos no admisibles.

Los conductores más habituales son de cobre (con resistividad de  $\rho_{Cu} = 0,01724 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  a 20°C) y normalmente suelen ir enterrados con los positivos y los negativos de cada grupo de módulos separados y protegidos de acuerdo con la normativa vigente. Asimismo la colocación de los conductores como otros detalles (por ejemplo color, identificación, etc) deberá de seguir las instrucciones del Reglamento de Baja Tensión para las líneas de cableado de la instalación

fotovoltaica y de media tensión en la línea que conecta al elevador de potencia de la instalación fotovoltaica con la red eléctrica.

Las cajas de conexión habituales en campos fotovoltaicos son de chapa de acero con tratamiento anticorrosivo y tienen una protección a la intemperie de clase IP 65". (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

Según (Abella, 2001) Las Ecuaciones para la selección del cableado son las siguientes:

$$V_{Gen,p}(Vp) = N^{\circ}p, serie * V_{p,p}(Vp) \quad \text{Ec. 5}$$

$$I_{Gen,p}(A) = \frac{P_{Gen,p}(Wp)}{V_{Gen,p}(Vp)} \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

$V_{Gen,p}(Vp)$ : Tensión generada en Voltios pico de los paneles.

$N^{\circ}p, serie$ : Números de paneles en serie.

$V_{p,p}(Vp)$ : Voltaje pico de los paneles en Voltios pico.

$I_{Gen,p}(A)$ : Intensidad de corriente generada por los paneles en Amperios.

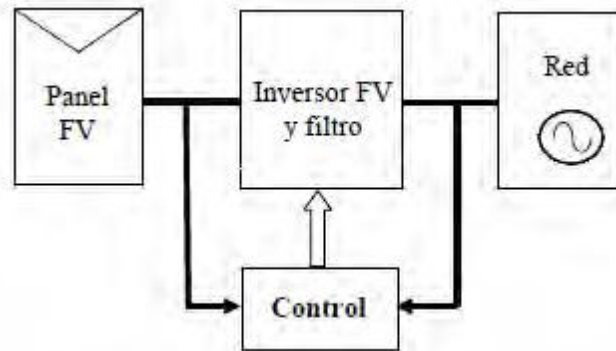
$P_{Gen,p}(Wp)$ : Potencia generada de los paneles en Watt pico.

### **Bloque de control**

“Cada día, este bloque cobra más importancia, ya que su aplicación permite mejorar el funcionamiento de las instalaciones, aumentar su rendimiento, reducir costes y prolongar su vida útil.

Es el bloque encargado de recoger los datos de funcionamiento de la instalación y dar las órdenes necesarias para asegurar su correcto funcionamiento. Para ello, cuenta con sistemas de monitorización y control (Ver Figura 6), los cuales podemos dividir en dos grupos: los sistemas manuales y los computarizados”. (Universidad de Piura, 2013)

Fig. 6: Esquema de un inversor con bloque de control



### Bloque de carga

“El concepto carga hace referencia a todo equipo o sistema que va a hacer uso de la energía producida por nuestro sistema. Por ello, el sistema debe diseñarse teniendo en cuenta dichas cargas y debe instalarse para suministrar energía a las mismas, de tal forma que el funcionamiento de la instalación sea óptimo y, por tanto, las pérdidas sean mínimas”. (Universidad de Piura, 2013)

La carga se calcula mediante las siguientes ecuaciones (Universidad de Piura, 2013):

$$E_i(\text{KWh}) = n * P * t \quad \text{Ec. 7}$$

$$E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^j f_p * E_i(\text{KWh}) \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

$E_i(\text{KWh})$ : Carga consumida por cada tipo de equipo.

$n$ : Número de unidades por cada tipo de equipo.

$P$ : Potencia nominal del equipo.

$t$ : Tiempo de uso de cada equipo.

$E_{\text{total}}$ : Carga Total de todos los equipos.

$f_p$ : Factor de proyección de consumo.

## **Inversor**

“En las instalaciones fotovoltaicas son los paneles fotovoltaicos los encargados de generar potencia a partir de la radiación solar captada. La potencia eléctrica generada es potencia continua, con unos valores de tensión y corrientes dependientes de la disposición de los paneles.

El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red.

Dentro de los inversores destinados a la conexión en red, podemos encontrar tres distintas categorías”: (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Inversores centrales**

“Generalmente utilizados en grandes instalaciones fotovoltaicas de potencia mayor a 100 kWp, en las que el generador fotovoltaico se conecta en ramas en paralelo y la conversión DC/AC está centralizada por un solo inversor.

Las ventajas de este tipo de instalación son que se tiene una estructura robusta, se puede obtener potencias de la planta hasta el rango de MW, el predominio de conexiones es en serie y hay un fácil alojamiento de las derivaciones de sobretensión en la caja de conexión del generador y un mayor rendimiento”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Inversores tipo “string” o de cadena**

“Basados en un concepto modular en el que varias ramas de un generador fotovoltaico se conectan a inversores en el rango de potencias de 1 a 3 kW.

Sus ventajas a destacar, son que tienen un menor cableado y por tanto menores pérdidas en CC, se obtiene un seguimiento del punto de máxima potencia individual por cadena, y que se puede prescindir de la caja de conexión del generador”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Inversores multicadena**

“Se utilizan con potencias entorno a los 5 kW y son una mezcla de los centrales por el lado de la alimentación y como varios inversores de cadena por el lado del generador”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

- **Inversores de pequeña potencia**

“Integrados en módulos fotovoltaicos para formar los denominados módulos AC”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Centro de transformación (CT)**

“Debido a que las plantas solares vierten la energía a la red eléctrica en media tensión es necesario elevar la tensión de salida de los inversores a media tensión (15 – 30 KV). Para ello se emplean los centros de transformación, que, en este caso, son elevadores e incorporan todos los elementos propios de un centro de transformación y accesorios necesarios.

Los CT se suministran e instalan prefabricados y en potencias normalizadas con lo que todo el montaje y verificación interna se hace en fábrica. El lugar de colocación normalmente es junto a la caseta de los inversores”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Seguridad**

“En los sistemas fotovoltaicos conectados a red resulta de aplicación el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Como en cualquier otro tipo de instalación eléctrica de baja tensión existe la posibilidad de descarga eléctrica y/o cortocircuito, aunque se trata de un riesgo muy bajo, para evitarlo se utilizan dispositivos de protección, tales como magnetotérmicos, diferenciales, derivaciones a tierra, aislantes que pueden ser térmicos o eléctricos (termoplásticos, polietileno, elastómeros, etc.)”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

## **Protecciones eléctricas**

“La función básica de los elementos de protección es la de reaccionar de la forma más adecuada ante la ocurrencia de un defecto, falta o fallo.

Las faltas más frecuentes son los cortocircuitos, lo que supone la circulación de corrientes mucho más elevadas que las de condiciones normales del elemento o parte de red en que se produce, pero una situación anómala también puede producirse por variación de tensión o frecuencia, inversión del flujo de potencia, sobrecalentamiento, etc.

El empleo de los elementos de protección queda justificado al intentar minimizar y/o evitar las pérdidas de servicio, y los daños en personas y equipos que se producirían si ante una falta no se aísla el elemento o parte de la red en que se produce en un tiempo adecuado”. (Universidad de Piura, 2013)

## **Dispositivos de maniobra**

### **- Puesta a tierra**

“Todas las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una red de tierras garantizando el valor normalizado de resistencia de puesta a tierra de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión<sup>2</sup>, así como de las masas del resto del suministro. La línea principal de tierra formará un anillo general alrededor del generador y se conectarán las partes metálicas de los soportes de los generadores y caja de conexión y la electrónica de la central (Inversor).

Para la conexión de los dispositivos al circuito de puesta a tierra, será necesario disponer de bornes o elementos de conexión que garanticen una unión perfecta, teniendo en cuenta los esfuerzos dinámicos y térmicos que se producen en caso de cortocircuito”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

---

<sup>2</sup> Reglamento utilizado junto con las normas CIEN (Código de instalaciones eléctricas de Nicaragua) para instalaciones eléctricas domiciliarias.

#### **- Fusibles**

“Se denomina fusible a aquellos dispositivos constituidos por un hilo o lámina metálica o de aleación de bajo punto de fusión que se intercala en la instalación eléctrica para que, mediante efecto Joule, se funda. La fusión puede producirse por una excesiva corriente, un cortocircuito o sobrecarga, que pueden hacer peligrar la integridad de los conductores bajo riesgo de incendio o destrucción de otros elementos”. (Universidad de Piura, 2013)

#### **- Interruptores**

“Para la extinción del arco eléctrico los interruptores, automáticos o no, emplearán sistemas basados en gran volumen de aceite, pequeño volumen de aceite, aire comprimido de hexafluoruro de azufre, vacío, soplado magnético, auto soplado, o cualquier otro principio que se aconseje.

Se indicarán claramente, mediante rótulos en el mecanismo de maniobra, la posición cerrada y abierta.

La maniobra de los interruptores se ejecutará de la manera que sea considerada más conveniente, ya sea mecánicamente, por resorte acumulado de energía, eléctricamente por solenoide o motor, por aire comprimido, etc. Cualquiera que sea el mecanismo adoptado para la maniobra de los interruptores automáticos, será de disparo libre”. (Universidad de Piura, 2013)

#### **Cuadro de protecciones y medida (CPM)**

“Del inversor parte la línea de CA hasta el CPM que incorpora el contador bidireccional que mide la energía entregada a la red eléctrica para la facturación de venta y la energía consumida por el parque solar así como los elementos de protección apropiados.

Este cuadro se suele encontrar dentro del armario de inversor y de éste se llega hasta el cuadro general de baja tensión que estará a la entrada del transformador.

Generalmente los consumos eléctricos en el mismo emplazamiento que la instalación fotovoltaica, se sitúan en circuitos independientes de los circuitos

eléctricos de la instalación fotovoltaica y de sus equipos de medida. La medida de tales consumos se realiza con equipos propios e independientes, que sirven de base para su facturación”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Línea eléctrica de evacuación**

“La línea eléctrica de evacuación es una línea de nueva construcción que conecta la salida de los centros de transformación con el punto de evacuación a media tensión de la red de distribución ya existente.

Esta línea puede ser aérea o subterránea y su longitud dependerá de la distancia al punto de conexión. Se optará por líneas aéreas cuando haya que salvar obstáculos del terreno como cerros, viviendas, etc. Y subterránea cuando se den las condiciones necesarias en el terreno de humedad, cruzamientos, etc”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Vida útil**

“La duración de una instalación fotovoltaica depende de los componentes que la forman. Si ésta está bien diseñada y se realiza el mantenimiento adecuado, en España, los módulos fotovoltaicos pueden tener una vida útil de hasta 40 años. Normalmente se considera la vida útil de unos 25-30 años.

La experiencia ha demostrado que estos componentes en realidad nunca dejan de generar electricidad, aunque con el paso del tiempo las células fotovoltaicas reducen su rendimiento energético”. (Viabilidad de SFCR en Granada - España, 2014)

### **Mantenimiento**

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red es mínimo, y de carácter preventivo. Para los sistemas con seguidores este mantenimiento no es tan simple ya que incluye revisarlas partes móviles sometidas a desgaste, cambio de piezas y lubricación. Entre otras cuestiones, se considera recomendable realizar revisiones periódicas de las instalaciones, para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente.



Dos aspectos a tener en cuenta son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos; y por el otro, mantener limpios los módulos fotovoltaicos, concretamente las caras expuestas al sol. Normalmente la lluvia ya se encarga de hacerlo, pero es importante asegurarlo.

### **Costos de un sistema fotovoltaico**

Los sistemas fotovoltaicos requieren una importante inversión de capital inicial, pero tienen unos gastos de mantenimiento bajos.

El análisis de todos los aspectos económicos relativos a un sistema fotovoltaico es complejo. De hecho, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada aplicación tiene que ser contemplada en su contexto particular, evaluando condiciones locales como, por ejemplo, la normativa, la radiación solar, el espacio disponible, etc.
- Para realizar una comparación correcta es necesario hablar de “valor de la energía” producida y no de “costo de la energía”. La energía producida por una fuente fotovoltaica tiene un mayor valor añadido (casi nula contaminación, no consumo de materia prima, pocos residuos generados, etc.) en comparación al de las fuentes tradicionales.
- La vida útil de un generador fotovoltaico es de aproximadamente unos 25 años. Algunas empresas ofrecen garantías que duran incluso todo ese tiempo.

## CAPÍTULO I

### **Estudio de consumo energético del edificio de la F.T.I.**

---

## ESTUDIO DE CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE LA F.T.I.

### 1.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevara a cabo en el “Edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria (FTI) de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios)”. Ubicada en el Costado Sur de Villa Progreso, Managua-Nicaragua. El sistema fotovoltaico conectado a red se ubicará en el terreno de área libre de la parte trasera del edificio y se suplirá el 30% del consumo estimado de energía actual.

Sus coordenadas geográficas son:

**Latitud:** 12° 08' 10.89" N    **Longitud:** 86° 13' 24.88" O    **Elevación:** 107 msnm

Fig. 1. 1: Ubicación del Edificio de la FTI



Fuente: Google Earth

## 1.2. Consumo energético actual estimado del edificio de la FTI

“La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP) se abastece de energía eléctrica de la red comercial suministrada, sujeta a la tarifa T-2D general mayor; carga contratada mayor a 25 kW para uso general (Establecimientos comerciales, oficinas públicas y privadas, centros de salud, centros de recreación, etc.)”. (Instituto Nicaragüense de Energía-ine, 2016). “El consumo promedio durante los últimos 12 meses hasta el mes de Julio que presenta es de 110,541.67 kWh/mes, con un costo de 19,366.67 C\$/día” **(Ver Anexo C2)**.

El edificio de la FTI registra su consumo en el medidor NIS: 2032582, con un consumo total estimado de 31,127.28 kWh/mes tomando en cuenta que se labora 24 días al mes, el cual representa el 28.15% de la demanda total de energía eléctrica del Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios. El costo promedio de la tarifa energética es de 4.2 C\$/kWh según la factura eléctrica de la universidad del mes de Julio **(Ver Anexo C2)**. Las características de la tarifa se describen en la siguiente tabla.

Tabla 1. 1: Descripción de la tarifa eléctrica de la universidad

NIS	Tipo de tarifa	Aplicación	Código de tarifa	Descripción
2032582	General Mayor	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos comerciales, Oficinas públicas y privadas, Centros de salud, Hospitales, etc)	T-2D	Tarifa binomia sin medición horaria estacional

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía-Ente regulador

Carga estimada total conectada del edificio = 151.66 kW/día

Consumo diario total estimado del edificio = 1,296.97 kWh/día (**Ver Anexo A4**)

$$E_{\text{Proy.}} = E_{\text{Actual}}(1 + r)^n \quad \text{Ec. 1.1}$$

Dónde:

$E_{\text{Proy.}}$ : Energía estimada proyectada

$E_{\text{Actual}}$ : Energía actual estimada

r: tasa de crecimiento = 2%

n: número de años = 20 años

$$E_{\text{Proy.}} = 1,296.97 \text{ kWh/día}(1 + 0.02)^{20}$$

$$E_{\text{Proy.}} = 1,927.22 \text{ kWh/día}$$

La producción de energía será el 30% de la energía estimada proyectada:

$$\text{Prod. Energía} = 0.3(1,927.22 \text{ kWh/día}) = 578.17 \text{ kWh/día} = 578,170 \text{ Wh/día}$$

### 1.2.1. Cálculo de la potencia generada según la energía estimada

$$P_{\text{gen}}(\text{kW}) = f_1 * \frac{E_{\text{tot}}(\text{kWh/día})}{\Delta t_{\text{sol}}(\text{h})} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Dónde:

$P_{\text{gen}}(\text{W})$ : Potencia generada

$f_1$ : Factor de corrección utilizado en Nicaragua para la  $P_{\text{gen}}$

$E_{\text{tot}}(\text{Wh})$ : Energía total estimada

$\Delta t_{\text{sol}}(\text{h})$ : horas sol en un día (horas pico) se elige la más crítica (Ver Tabla 1.2)

$$f_1 = 1.1$$

Tabla 1. 2: Horas pico en cada mes del año

Horas sol que inciden en un día (Horas pico) de la FTI (h)													
Lat 12.136° Lon - 86.224°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Estadísticas de los últimos 22 años	5.55	6.06	6.69	6.52	5.77	5.69	5.78	5.75	5.36	5.27	5.24	5.33	5.74

Fuente: NASA

Para calcular la potencia generada según la energía consumida en un día se elige la hora pico más crítica.

$$P_{\text{gen}}(\text{W}) = 1.1 * \frac{578.17 \text{ kWh/día}}{5.24 \text{ h/día}} = 121.37 \text{ kW} = 121,370 \text{ W}$$

## CAPÍTULO II

### **Cálculo y dimensionamiento de los componentes para el sistema fotovoltaico conectado a red**

---

## **CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED**

### **2.1. Cálculo del número de paneles solares necesarios para generar una potencia de 121,370 W**

#### **Paneles solares**

Los paneles solares son el elemento de generación eléctrica y se pueden disponer en serie y/o paralelo para obtener la tensión nominal requerida en cada caso. Estos paneles están formados por un número determinado de células que están protegidas por un vidrio, encapsuladas sobre un material plástico y todo el conjunto enmarcado con un perfil metálico.

El módulo solar propuesto es el modelo CS6X-310P de material policristalino del fabricante Canadian Solar.

Fig. 2. 1: Módulo FV policristalino MAX POWER-CS6X-310P



Fuente: ECAMI S.A.



Tabla 2. 1: Características principales del módulo solar

<b>MÓDULO CANADIAN SOLAR-MAX POWER CS6X-310P</b>	
<b>Condiciones estándar /STC (Standard Test Conditions)</b>	<b>Irradiancia:1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de celda: 25°C</b>
Características eléctricas	
Potencia máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ )	310 W
Corriente óptimo de funcionamiento ( $I_{mp}$ )	8.52 A
Voltaje óptimo de funcionamiento ( $V_{mp}$ )	36.4 V
Corriente en cortocircuito ( $I_{sc}$ )	9.08 A
Voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ )	44.9 V
Voltaje máximo del sistema ( $V_{m\acute{a}x}$ )	1000 V DC
Temperatura de operación	-30°C - +85°C
Eficiencia	16.16 %
Dimensiones	
Longitud	1954 mm = 1.954 m
Anchura	982 mm = 0.982 m
Espesor	40 mm = 0.04 m
Peso	22 kg
Coeficiente de temperatura	
$\alpha V_{Pm\acute{a}x}$	-1,271 mW/°C = - 0.41%/°C
$\alpha V_{oc}$	-139.19 mV/°C = - 0.31%/°C
$\alpha I_{sc}$	4.81 mA/°C = 0.053%/°C

Fuente: ECAMI S.A.

Tabla 2. 2: Pérdidas del sistema FV

	Tipo	Valor
<b>a</b>	Pérdidas por reflexión	3.10
<b>b</b>	Pérdidas por sombreado	3.30
<b>c</b>	Pérdidas por desalineamientos	5.70
<b>d</b>	Pérdidas debidas a efectos de la temperatura	7.60
<b>e</b>	Pérdidas del circuito en CC	1.20
<b>f</b>	Pérdidas por inversor	4.00
<b>g</b>	Pérdidas del circuito en AC	2.00
<b>Pérdidas totales (%) <math>f_2</math></b>		<b>25.03</b>

$$\text{Pérdidas totales (\%)} = \{1 - (1 - a - b) * (1 - c - d) * (1 - e) * (1 - f)\} + g$$

$$\text{Pérdidas totales (\%)} = \{1 - (1 - 0.031 - 0.033) * (1 - 0.057 - 0.076) * (1 - 0.012) * (1 - 0.04)\} + 0.02$$

$$\text{Pérdidas totales (\%)} = 0.2503 = 25.03 \%$$

$$N_{T.\text{módulos}} = \frac{P_{\text{gen}}(W)}{P_{\text{módulo}}(W)} * f_2 \quad \text{Ec. 2. 1}$$

Dónde:

$f_2$ : Factor de corrección por pérdidas del sistema

$P_{\text{módulo}}(W)$ : Potencia de cada módulo FV

$$f_2 = 1 + 0.25 = 1.25$$

$$N_{T.\text{módulos}} = \frac{121,370 \text{ W}}{310 \text{ W}} * 1.25 = 489.39 \approx 490 \text{ módulos}$$

### 2.1.1. Cálculo de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico

$$P_{\text{gen.módulos}}(W) = P_{\text{módulo}} * N_{T.\text{módulos}} \quad \text{Ec. 2. 2}$$

$$P_{\text{gen.módulos}}(W) = 310W * 490 = 151,900 \text{ W}$$

### 2.1.1.1. Cálculo de energía generada por el arreglo fotovoltaico

$$E_{\text{gen}} = P_{\text{gen.módulo}} * \Delta t_{\text{sol}}(\text{h/día}) \quad \text{Ec. 2. 3}$$

$$E_{\text{gen}} = 151,900 \text{ W} * 5.24 \text{ h/día} = 795,956 \text{ Wh/día}$$

### 2.2. Cálculo de módulos en serie

$$V_{\text{máx.}} = V_{\text{oc}} + \Delta V^+ \quad \text{Ec. 2. 4}$$

$$V_{\text{mín.}} = V_{\text{oc}} + \Delta V^- \quad \text{Ec. 2. 5}$$

$$\Delta V^+ = \Delta T^- * \alpha_{V_{\text{oc}}} \quad \text{Ec. 2. 6}$$

$$\Delta V^- = \Delta T^+ * \alpha_{V_{\text{oc}}} \quad \text{Ec. 2. 7}$$

$$\Delta T^- = T_{\text{mín}} - T_{\text{c.estandar}} \quad \text{Ec. 2. 8}$$

$$\Delta T^+ = T_{\text{máx}} - T_{\text{c.estandar}} \quad \text{Ec. 2. 9}$$

$$\alpha_{V_{\text{oc}}} = V_{\text{OC}} * T_{\text{coef.Voc}} \quad \text{Ec. 2. 10}$$

Dónde:

$V_{\text{mín.}}$ : Tensión mínima del módulo

$V_{\text{máx.}}$ : Tensión máxima del módulo

$\Delta V^+$ : Máximo incremento positivo de la tensión debido al coef. de temp.

$\Delta V^-$ : Máximo incremento negativo de la tensión debido al coef. de temp.

$\alpha_{V_{\text{oc}}}$ : Coeficiente de temperatura debido a la tensión de circuito abierto

$T_{\text{c.estandar}}$ : Temperatura en condiciones estandar (25°C)

$\Delta T^+$ : Máximo incremento positivo de la temperatura de trabajo del módulo

$\Delta T^-$ : Máximo incremento negativo de la temperatura de trabajo del módulo

#### Para convertir de %/°C a mV/°C

$$\alpha_{V_{\text{oc}}} = V_{\text{OC}} * \frac{T_{\text{coef.Voc}}}{100} * 1000$$

$$\alpha_{V_{\text{oc}}} = 44.9 \text{ V} * -\frac{0.31\%/^{\circ}\text{C}}{100} * 1000$$

$$\alpha_{V_{\text{oc}}} = -139.19 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

**Datos del panel:**

$$T_{\text{máx.}} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{mín.}} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{c.estandar}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo **Ec. 2.8** en **Ec. 2.6** se obtiene:

$$\Delta V^{+} = (T_{\text{mín.}} - T_{\text{c.estandar}}) * \alpha_{V_{oc}}$$

$$\Delta V^{+} = (-30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) * (-139.19\text{mV}/^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta V^{+} = 7,655\text{ mV} = 7.655\text{ V}$$

Sustituyendo **Ec. 2.9** en **Ec. 2.7** se obtiene:

$$\Delta V^{-} = (T_{\text{máx.}} - T_{\text{c.estandar}}) * \alpha_{V_{oc}}$$

$$\Delta V^{-} = (85^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) * (-139.19\text{mV}/^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta V^{-} = -8,351\text{ mV} = -8.351\text{ V}$$

$$V_{\text{máx.}} = V_{oc} + \Delta V^{+}$$

$$V_{\text{máx.}} = 44.9\text{ V} + 7.655\text{ V} = 52.555\text{ V}$$

$$V_{\text{mín.}} = V_{oc} + \Delta V^{-}$$

$$V_{\text{mín.}} = 44.9\text{ V} + (-8.351\text{ V}) = 36.549\text{ V}$$

Rango de tensión de entrada ( $V_{\text{máx.}}-V_{\text{mín.}}$ ) inversor	800-320 $V_{CC}$
--	------------------

Con lo cual podemos deducir el N° de paneles en serie teniendo en cuenta que deberá cumplir con lo sig.:

$$N_S * V_{\text{máx}} \leq V_{\text{máx.inversor}} \quad \text{Ec. 2. 11}$$

$$N_S * V_{\text{mín}} \geq V_{\text{mín.inversor}} \quad \text{Ec. 2. 12}$$

Dónde:

$N_S$ : Número de módulos en serie

$V_{\text{máx.inversor}}$ : Tensión máxima de entrada al inversor

$V_{\text{mín.inversor}}$ : Tensión mínima de entrada al inversor

$V_{\text{máx}}$ : Tensión máxima del módulo

$V_{\text{mín}}$ : Tensión mínima del módulo

$$N_S \leq \frac{V_{\text{máx.inversor}}}{V_{\text{máx}}} = \frac{800 \text{ V}}{52.555 \text{ V}} = 15.22 \approx 15$$

$$N_S \geq \frac{V_{\text{mín.inversor}}}{V_{\text{mín}}} = \frac{320 \text{ V}}{36.549 \text{ V}} = 8.75 \approx 9$$

El número de módulos en serie de nuestra instalación debe estar comprendida entre 15 y 9.

### 2.3. Cálculo de módulos en paralelo

Para determinar el número de módulos en paralelo de nuestra instalación tenemos que tener en cuenta lo sig.:

$$N_P * I_{SC} \leq I_{\text{máx.inv.}} \quad \text{Ec. 2. 13}$$

Dónde:

$N_P$ : Números de módulos en paralelo

$I_{SC}$ : Intensidad de cortocircuito del módulo solar

$I_{\text{máx.inv.}}$ : Intensidad máxima de entrada en el inversor

Conocemos el rango de intensidad de corriente continua del inversor.

Rango máximo de corriente de entrada	33 Acc
--------------------------------------	--------

$I_{\text{máx.entrada}}$ : Intensidad máxima de entrada del inversor en DC = 33 A<sub>CC</sub>

$I_{\text{máx.salida}}$ : Intensidad máxima de salida del inversor en AC = 29 A<sub>AC</sub>

Por lo tanto en nuestro caso tenemos que:

$$N_P \leq \frac{I_{\text{máx.inv.}}}{I_{sc}}$$

$$N_P \leq \frac{33 \text{ A}}{9.08 \text{ A}}$$

$$N_P \leq 3.6 \approx 3$$

Con lo cual sabemos que el número de módulos en paralelo de nuestra instalación deberá ser como máximo de 3.

#### 2.4. Determinación del número de los inversores

El inversor propuesto es el modelo STP 20000TL-30 del fabricante SMA IBERICA y está especialmente indicado para las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.

El inversor es escogido para una instalación eléctrica diseñada de forma óptima en la que todos los valores eléctricos límite se cumplan con seguridad.

Fig. 2. 2: Inversor SMA IBERICA - STP 20000TL-30



Fuente: ECAMI S.A.

Tabla 2. 3: Características principales del inversor

<b>INVERSOR SMA IBERICA – SUNNY TRIPOWER (STP) 20000TL-30 trifásico</b>	
Entrada de corriente CC	
Potencia máxima de CC	20440 W
Voltaje máximo de entrada	1000 V
Rango de tensión MPP	320 V a 800 V
Rango máximo de corriente	33 A
Salida de corriente CA	
Potencia asignada	20000 W
Factor de potencia	1
Corriente máxima de salida	29 A
Rango de tensión de CA	180 V a 280 V
Frecuencia de red de CA	50 Hz a 60 Hz
Sistemas	
Máxima eficiencia	98.4 %
Eficiencia Europea	98.0 %
Peso	61 kg
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	661/682/264 mm

Fuente: ECAMI S.A.

$$N_{\text{inversores}} = \frac{N_{\text{T.módulos}}}{N_{\text{módulos/inversor}}} \quad \text{Ec. 2. 14}$$

$$N_{\text{inversores}} = \frac{490}{45} = 10.8 \approx 11 \text{ inversores}$$

### Comprobación del número de inversores:

Para asegurar que los 11 inversores cubren la potencia requerida estimada por la carga del edificio, se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de inversores por la potencia de salida del inversor.

$$(11 \text{ inversores})(20,000 \text{ W}) = 220,000 \text{ W} = 220 \text{ kW}$$

El valor de la potencia total de los 11 inversores (220 kW) es mayor que la potencia total de la carga o consumo estimado del edificio (151.66 kW) por lo que el número de inversores es adecuado para el sistema FV.

## 2.5. Recalculando el número total de módulos

Con los datos obtenidos anteriormente sabemos que nuestra instalación debe cumplir con los siguientes parámetros:

$$N_{T.\text{módulos}} = 490$$

$$15 \geq N_S \geq 9$$

$$N_P \leq 3$$

$$N_{T.\text{módulos}} = N_S * N_P * N_{\text{inversores}} \quad \text{Ec. 2. 15}$$

Dónde:

$N_{T.\text{módulos}}$ : Número total de módulos con  $f_2 = 1.25$

$N_S$ : Número de módulos en serie

$N_P$ : Número de módulos en paralelo

Por lo tanto obtendremos:

$$N_S \geq \frac{N_{T.\text{módulos}}}{N_P} \quad \text{Ec. 2. 16}$$

$$N_S \geq \frac{490}{3} \rightarrow N_S \geq 163.33 \approx 164 \rightarrow N_P = 3$$

$$N_S \rightarrow \frac{164 \text{ módulos en serie}}{11 \text{ inversores}} = 14.9 \approx 15 \text{ módulos}$$



N° de arreglos por inversor =  $N_P = 3$

N° Total de módulos = 490

N° de módulos en serie (string) por arreglo  $\rightarrow N_S \leq 15$

N° de módulos por inversor = N° de arreglos \* N° módulos en serie

N° de módulos por inversor =  $3 * 15 = 45$  módulos/inversor

**Con los datos obtenidos volvemos a recalcular el número total de módulos reales ( $N_{T.módulos R.}$ ):**

$$N_{T.módulos R.} = N_S * N_P * N_{inversores}$$

$$N_{T.módulos R.} = 15 * 3 * 11$$

$$N_{T.módulos R.} = 495 \text{ módulos}$$

Tomando el total de módulos FV en el arreglo y el número de módulos que necesita el sistema FV para cubrir la carga, el número de inversores se obtiene de la Ec. 2.14.

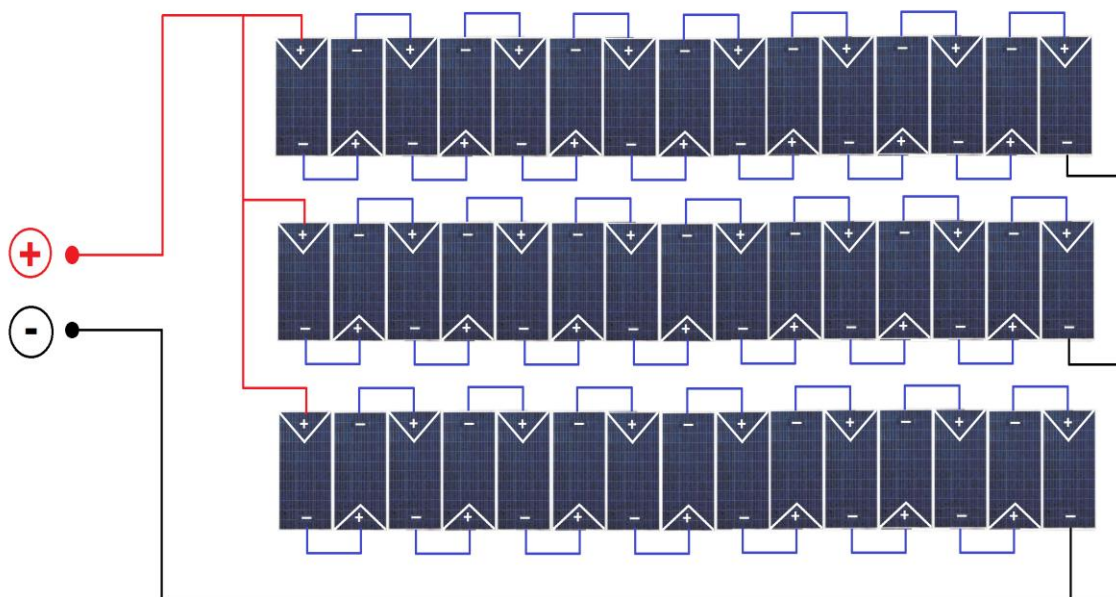
Fig. 2. 3: Arreglos de módulos FV por cada inversor

Filas (Serie)

Columnas (Paralelo)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	2														
	3														

Fuente: Elaboración propia

Fig. 2. 4: Diagrama de conexión del panel fotovoltaico (corriente directa)



Fuente: Elaboración propia

### Comprobación de los módulos en serie:

Se observa que cada fila está integrada por 15 módulos en serie y 3 módulos en paralelo que son las columnas, por lo que se tiene 45 módulos conectados por inversor. Para asegurar si la tensión de los 15 módulos en serie no rebasa la tensión de entrada del inversor se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de módulos en serie por la tensión de salida de cada módulo.

$$(15 \text{ módulos})(36.4 \text{ V}) = 546 \text{ V}$$

El valor de la tensión de los módulos se encuentra dentro del intervalo de tensión del inversor que es entre 320 V y 800 V, por lo que el arreglo es correcto.

### **Comprobación de los módulos en paralelo:**

Al igual que los módulos en serie, se hace la misma comprobación para los módulos en paralelo, en este caso se multiplica la corriente de salida del módulo por el número de módulos en paralelo.

$$(3 \text{ módulos en paralelo})(8.52 \text{ A}) = 25.56 \text{ A}$$

El valor de la corriente de los módulos se encuentra dentro del valor de corriente máxima de entrada del inversor que es de 33 A, por lo que es correcto el arreglo.

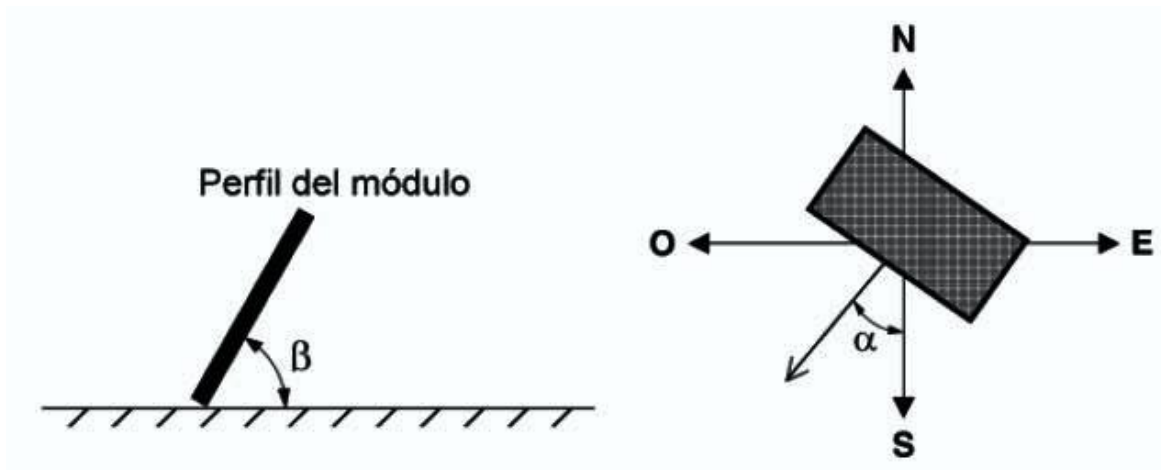
Es importante mencionar que el arreglo fotovoltaico no necesariamente tiene que tener la configuración ni el número de módulos como el de la Fig. 2.3, esto solo se refiere a las conexiones en serie y paralelo entre los módulos para tener las condiciones necesarias de entrada del inversor.

### **2.6. Cálculo de la inclinación, orientación y distancia entre paneles**

La radiación disponible, depende, obviamente de la radiación solar incidente y de la disposición de los paneles.

La disposición de los paneles está determinada por dos ángulos, el azimut u orientación  $\alpha$ , que es el ángulo que mide la desviación respecto al Sur (en el hemisferio Norte): y la inclinación o elevación  $\beta$  (ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal).

Fig. 2. 5: Orientación e inclinación del módulo fotovoltaico



Fuente: Universidad Carlos III de Madrid - Departamento de Ingeniería Eléctrica

### **Inclinación:**

Como la inclinación de los paneles será fija para todo el año, lo mejor es escoger la inclinación en la cual los paneles recibirán la mayor cantidad de radiación a lo largo de todo el año.

El ángulo óptimo de inclinación del generador fotovoltaico que garantice su mejor aprovechamiento varía de acuerdo al lugar por eso se puede relacionar con la latitud  $\phi$  de un determinado lugar donde se instalara el sistema FV mediante la Ec. 2.17.

$$\beta_{\text{opt}} = 3.7 + 0.69\phi \quad \text{Ec. 2. 17}$$

Dónde:

$\beta_{\text{opt}}$ : Ángulo óptimo de inclinación

$\phi$ : Latitud del edificio de la FTI ( $12^{\circ} 08' 10.89''\text{N}$ )

$$\beta_{\text{opt}} = 3.7 + 0.69(12^{\circ}) = 11.98 \approx 12^{\circ}$$

Por tanto, como la latitud geográfica del edificio de la FTI ubicada en Managua es de  $(12^{\circ} 08' 10.89)$ , la inclinación óptima de los paneles para generar la máxima energía posible es de  $12^{\circ}$  (para cualquier orientación)

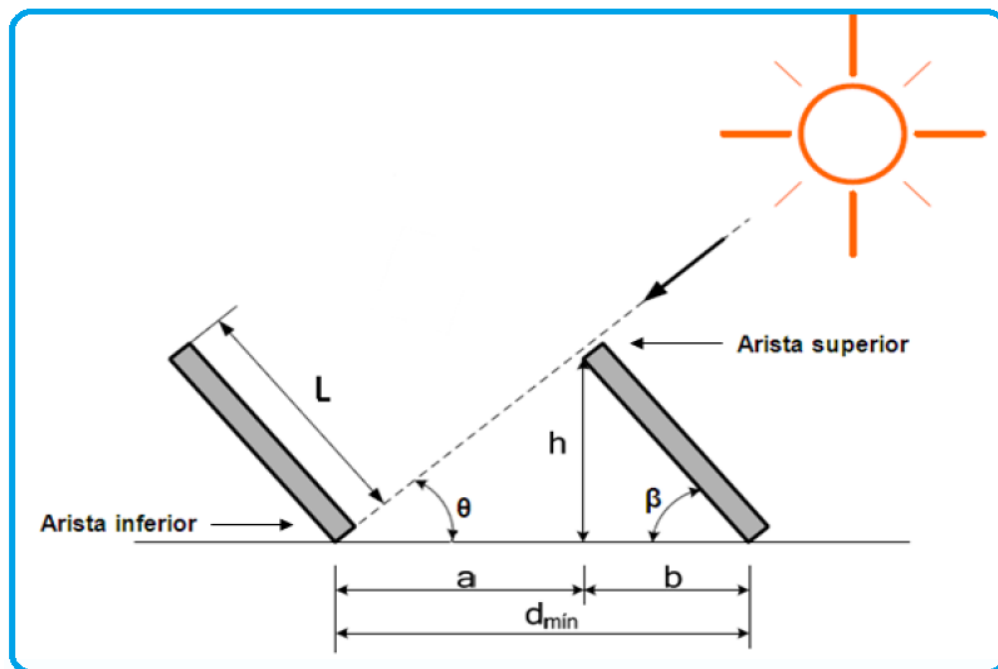
### Ángulo de azimut u orientación:

Teniendo en cuenta que la trayectoria del sol durante un día es de Este a Oeste se requiere que los paneles fijos se coloquen orientados hacia el sur geográfico, medido respecto al norte. Por tanto el valor del ángulo de Azimut ( $\alpha$ ) será  $0^{\circ}$ .

### Distancia entre paneles:

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, tal y como se observa en la Fig. 2.6.

Fig. 2. 6: Distancia mínima entre aristas de paneles



Fuente: Universidad Carlos III de Madrid - Departamento de Ingeniería Eléctrica

Dónde:

$d_{\min}$ : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras (m)

L: Longitud del panel (columna de módulos en paralelo) (m)

h: altura solar al medio día (m)

$\beta$ : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal (°)

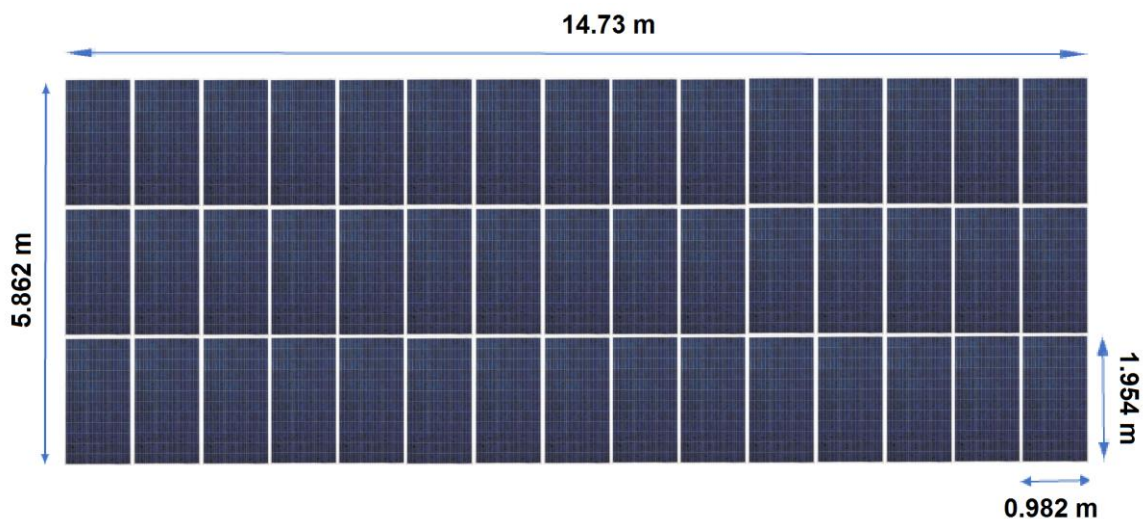
$\Theta$ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal (°)

a: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro (m)

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal (m)

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel que es  $12^\circ$  y la longitud del panel (L) que es 5.862 m, se calcula la altura solar al medio día.

Fig. 2. 7: Panel fotovoltaico con 45 módulos



Fuente: Elaboración propia

$$h = \text{sen}\beta * L \quad \text{Ec. 2. 18}$$

$$h = (\text{sen}12^\circ)(5.862 \text{ m}) = 1.22 \text{ m}$$

Con los mismos datos se calcula la distancia “b”

$$b = \cos\beta * L \quad \text{Ec. 2. 19}$$

$$b = (\cos 12^\circ)(5.862 \text{ m}) = 5.73 \text{ m}$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo  $\Theta$  es de  $78^\circ$ . Enseguida se calcula la distancia “a”, utilizando como dato la altura (h) y el ángulo  $\Theta$ .

$$a = \frac{h}{\tan\theta} \quad \text{Ec. 2. 20}$$

$$a = \frac{1.22 \text{ m}}{\tan 78^\circ} = 0.25 \text{ m}$$

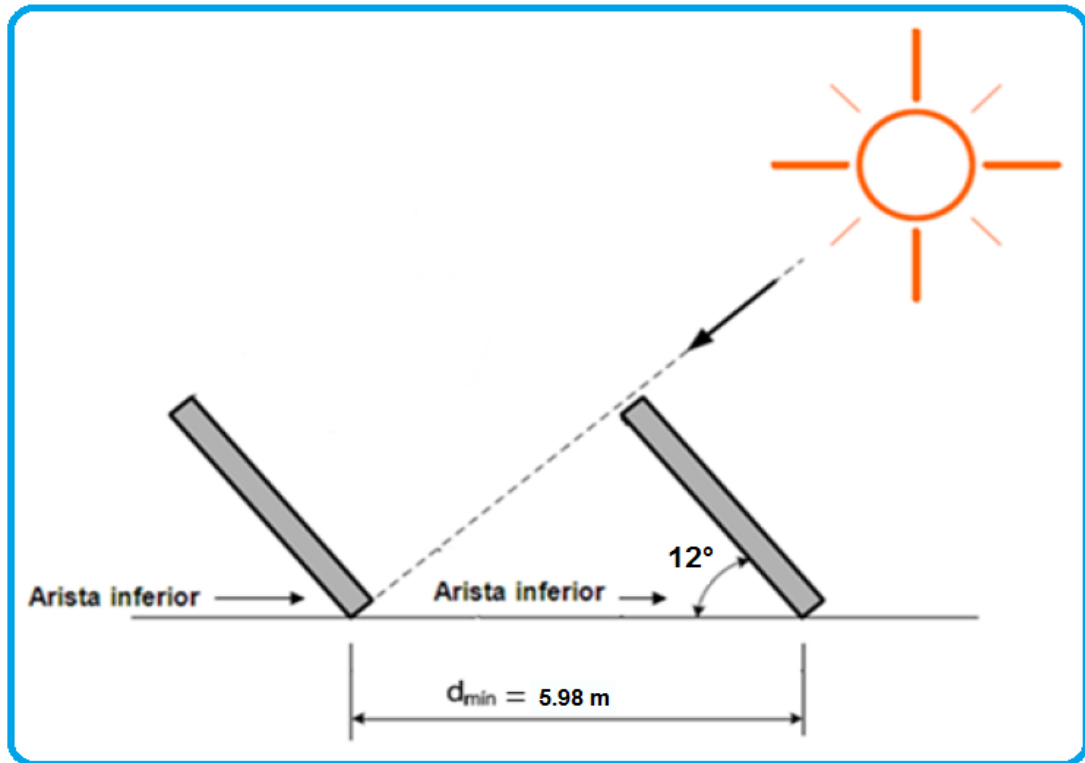
Por último se suma la distancia “a” más la distancia “b” para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$d_{\text{mín}} = a + b \quad \text{Ec. 2. 21}$$

$$d_{\text{mín}} = 0.25 \text{ m} + 5.73 \text{ m} = 5.98 \text{ m}$$

Por lo que la distancia entre las aristas inferiores tiene que ser igual o mayor a 5.98 m (Ver Fig. 2.8).

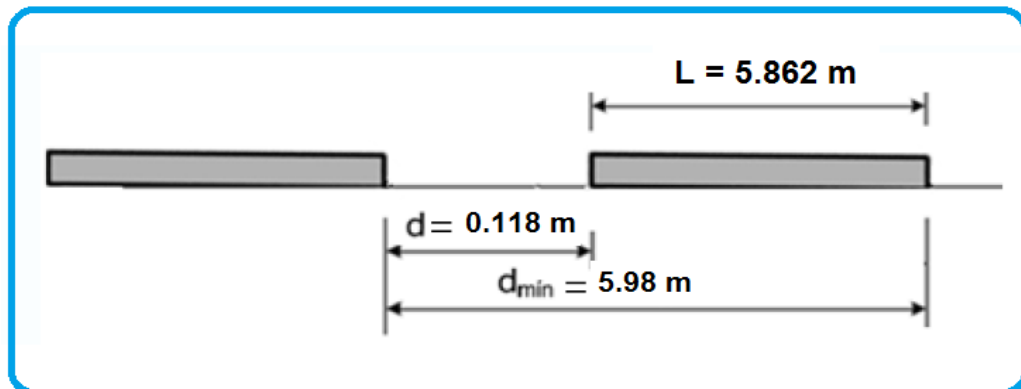
Fig. 2. 8: Distancia entre aristas inferiores



Fuente: Elaboración propia

La distancia que debe de haber entre el final de un panel y el inicio de otro ( $d$ ) es igual a  $d_{\min}$  menos la distancia del módulo ( $L$ ), por lo que la distancia ( $d$ ) es igual a  $0.118 \text{ m}$  (Ver Fig. 2.9).

Fig. 2. 9: Distancia entre paneles



Fuente: Elaboración propia



## **2.7. Descripción de los componentes del sistema fotovoltaico conectado a red**

La empresa distribuidora de los componentes seleccionados para el sistema fotovoltaico es ECAMI S.A. (Ver Anexo D1)

### **➤ Módulos solares (Canadian solar Max Power CS6X-310P):**

“Los módulos solares fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas cuya función es producir electricidad a partir de la captación de los rayos solares”. (Wikipedia enciclopedia libre, 2016)

“Los módulos fotovoltaicos consisten en un conjunto de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado, a la vez que se conectan varias células como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo”. (Wikipedia enciclopedia libre, 2016)

“El conjunto de módulos fotovoltaicos conectados entre sí, ya sea en serie y/o paralelo constituyen el panel o generador fotovoltaico. La finalidad de esta configuración es obtener las características de tensión y potencia deseada de acuerdo a los requerimientos de nuestro sistema. Los módulos solares seleccionados para nuestra instalación están fabricados de silicio policristalino ya que son los más empleados por su bajo coste de fabricación y su gran eficiencia de 16.68%. Estos paneles solares poseen 25 años de garantía de potencia”. (ECAMI S.A., 2016)

“El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna, tendremos que añadir un inversor”. (ECAMI S.A., 2016)

➤ **Inversores (SMA-IBERICA Sunny Tripower-STP-20000TL):**

El inversor CC/CA tiene la misión de transformar la corriente continua del grupo fotovoltaico en corriente alterna perfectamente sincronizada con la red eléctrica convencional.

El Sunny Tripower 20000TL de conexión a red es el inversor ideal para plantas de gran tamaño en el sector comercial e industrial. Gracias a su rendimiento del 98,4 %, no solo garantiza unas ganancias excepcionalmente elevadas, sino que ofrece una compatibilidad con muchos módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado.

Fig. 2. 10: Inversores SMA-IBERICA Sunny Tripower-STP-20000TL



Fuente: ECAMI S.A.

➤ **Contador de salida de energía:**

El contador de salida contabiliza la energía producida por el sistema FV y el excedente es enviado a la red nacional. Pero en nuestro caso no se enviará

excedente de energía a la red, ya que el sistema estará diseñado para disminuir el 30% de la dependencia energética estimada que tiene el edificio de la FTI de la red nacional y el otro 70% se seguirá obteniendo de la empresa distribuidora de energía.

➤ **Caja de embarrado:**

También conocido como barraje, o barra colectora. Es el término utilizado en el sector eléctrico para referirse a la conexión de un cuadro eléctrico a la red que lo alimenta.

En cuadros eléctricos de gran potencia el embarrado suele hacerse con blindos, barras de cobre capaces de conducir grandes intensidades, de hasta 2,000 amperios en media tensión o hasta 90,000 amperios en alta tensión.

➤ **Contador de entrada de energía:**

El contador de entrada mide la energía que se extrae de la red eléctrica para satisfacer el consumo total del edificio.

➤ **Cuadro de distribución (Centro de cargas):**

La función principal del cuadro de distribución o centro de carga es decir, caja de interruptores, caja de fusibles, es tomar la electricidad suministrada por la red pública y distribuirla por todo el edificio para alimentar las luces y las toma.

➤ **Caja general de protección de la empresa distribuidora:**

La caja general de protección o CGP es una caja de material aislante que aloja en su interior los elementos de protección de las líneas generales de alimentación de una instalación eléctrica. La CGP conecta los puntos de

consumo eléctrico o clientes a la red de la empresa distribuidora, normalmente en baja tensión.

Además de realizar físicamente la conexión, delimita la propiedad y responsabilidad entre la empresa distribuidora y el cliente, y contiene fusibles para evitar que averías en la red interior de estos se extiendan a la red de la distribuidora y, por tanto, que afecten a otros clientes. Se instalan preferentemente fuera de los edificios y en la zona más próxima a la red distribuidora, en lugares de libre y permanente acceso.

Fig. 2. 11: Caja general de protección de la empresa distribuidora



Fuente: wikipedia.org

➤ **Conexión con la red eléctrica nacional:**

Una red eléctrica es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores.

Según la Ley No. 272; Ley de la industria eléctrica en Nicaragua. Establece que el auto productor en Nicaragua, es un agente económico basado en la

generación de electricidad para auto consumo parcial o total, con la finalidad o propósito de satisfacer las necesidades energéticas que se presentan en instalaciones industriales o propias, la presente ley tiene por objeto establecer el régimen legal sobre las actividades de la industria eléctrica dando campo a futuros proyectos energéticos que prometen dar un buen servicio cuidando de manera responsable nuestro entorno.

### **2.7.1. Elementos de protección del circuito**

Son elementos como diodos de bloqueo, interruptores para desconexión, puesta a tierra, etc., dispuestos entre diferentes parte del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de falla o situaciones de sobrecarga.

#### **➤ Protecciones de corriente directa (Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC):**

Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC protege sus sistemas de energía solar o eólica sensibles de rayos. El LA Serie Delta maneja las grandes oleadas, como un rayo hasta 50,000 amperios, pasarlos sin causar daño a la planta.

Si bien no es posible lograr una protección del 100%, las unidades Delta reducirán en gran medida los problemas debidos a rayos, sobretensiones y picos de tensión. El modelo LA302DC es ideal para otras aplicaciones de CC actuales limitadas y fotovoltaica.

Fig. 2. 12: Protección (Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC)



Fuente: ECAMI S.A.

➤ **Protecciones de corriente alterna (Delta Lightning Arrestor LA 602-R - AC):**

Pararrayos para los dispositivos de corriente alterna. Protege el equipo solar y la energía eólica de rayos.

Fig. 2. 13: Protección (Delta Lightning Arrestor LA 602-R –AC)



Fuente: ECAMI S.A.

➤ **Interruptor general:**

Permite su accionamiento manual y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Este interruptor será independiente del interruptor de control de potencia.

➤ **Interruptor de control de potencia (Solar Inverter Monitor Schneider):**

Es un interruptor magnetotérmico que sirve para limitar la potencia que puede consumir el abonado (edificio de la FTI) a la potencia contratada con la compañía suministradora.

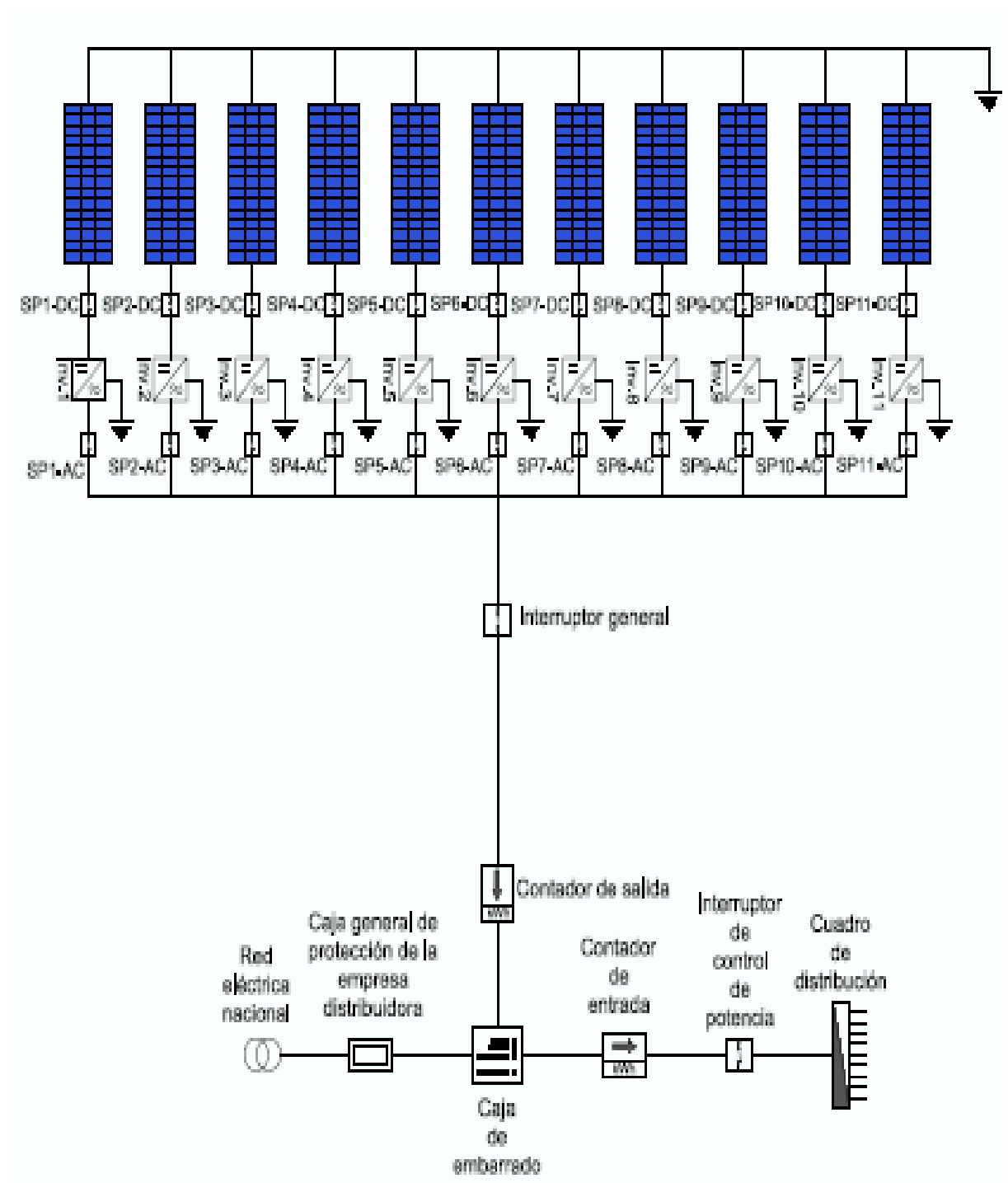
➤ **Protección contra fallas a tierra**

En la sección 690.5 del Código Eléctrico Nacional nos indica:

Los arreglos fotovoltaicos de C.C. puestos a tierra deben tener protección de C.C. contra fallas a tierra que cumpla con los siguientes requisitos para reducir los peligros de incendio.

Detección e interrupción de fallas a tierra. El dispositivo o sistema de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una corriente de falla a tierra, interrumpir el flujo de la corriente de falla y suministrar una indicación de dicha falla.

Fig. 2. 14: Diagrama unifilar del SFCR de la FTI



Fuente: Elaboración propia



## 2.8. Cálculo de la sección de los conductores para el sistema fotovoltaico

Cables de conexión: Es el componente indispensable para el transporte de energía eléctrica entre los diferentes bloques del sistema fotovoltaico. Como es inevitable que ocurra la pérdida de energía en forma de calor debido a que la resistencia eléctrica del conductor nunca es nula, la elección de un cable conductor representa un compromiso entre un valor bajo la resistencia y el coste del mismo. Dentro de la gama de materiales existentes, el cobre presenta una buena solución, al ser un material ligero, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica

Fig. 2. 15: Sección del conductor



Fuente: Fundación para la formación profesional (FORPRO)

### 2.8.1. Conductores para la sección entre módulos (string) corriente continua

$$S = \frac{2 * L}{\gamma * U} * I \quad \text{Ec. 2.22}$$

Dónde:

S: Sección del conductor

I: Intensidad del módulo en amperios ( $I_{mp}$ ) = 8.52 A

$\gamma$ : Conductividad del conductor a 90°C para aislamiento XLPE = 44 m/ $\Omega$ . mm<sup>2</sup>

Para la conductividad del conductor (Ver Anexo A8)

L: Longitud del conductor de conexión entre módulos por string = 28 m

U: Caída de tensión en voltios = (%caída de tensión)(tensión)

$$U = (1\%) (V_{mp} * N^{\circ} P_{.serie}) = (0.01)(36.4 \text{ V} * 15) = 5.46 \text{ V}$$

$$S = \frac{2 * 28 \text{ m}}{44 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} * 5.46 \text{ V}} * 8.52 \text{ A} = 2 \text{ mm}^2$$

XLPE: Aislamiento de polietileno reticulado

Esto indica que se debe de usar conductor calibre #14 AWG, utilizando tabla de LATINCASA (Ver Anexo A7). Para una mayor seguridad utilizaremos un cable más grueso que soporte mayor amperaje, el cual sería calibre #12 AWG.

### **2.8.2. Conductores para la sección de salida del panel a la entrada del inversor (corriente continua)**

$$S = \frac{2 * L}{\gamma * U} * I$$

Dónde:

S: Sección del conductor

I: Intensidad de salida del panel = (N° de arreglos en paralelo)(intensidad,  $I_{mp}$ )

$$I = (3)(8.52 \text{ A}) = 25.56 \text{ A}$$

$\gamma$ : Conductividad del conductor a 90°C para aislamiento XLPE = 44 m/ $\Omega$ . mm<sup>2</sup>

Para la conductividad del conductor (Ver Anexo A8)

L: Longitud del conductor de conexión del panel al inversor = 40 m

U: Caída de tensión en voltios = (%caída de tensión)(tensión)

$$U = (1\%) (V_{mp} * N^{\circ} P_{.serie}) = (0.01)(36.4 \text{ V} * 15) = 5.46 \text{ V}$$

$$S = \frac{2 * 40 \text{ m}}{44 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} * 5.46 \text{ V}} * 25.56 \text{ A} = 8.5 \text{ mm}^2$$

Esto indica que se debe usar un conductor calibre #8 AWG, utilizando tabla de LATINCASA (Ver Anexo A7). Igual que en el caso anterior, para mayor seguridad utilizaremos un cable más grueso que soporte mayor amperaje, el cual sería calibre #6 AWG.

### 2.8.3. Conductor para el tramo entre la salida del inversor y el resto de componentes en corriente alterna

Para este tramo se ha considerado la corriente nominal del inversor sobredimensionada al 25% a partir de la siguiente expresión:

$$I_{N.Inv.} = \frac{P_{N.Inv.}}{\sqrt{3} * V_L * \cos \varphi} \quad \text{Ec. 2.23}$$

Dónde:

$P_{N.Inv.}$ (W): Potencia nominal del inversor = 20,000 W

$V_L$ (V): Tensión de línea a la salida de corriente alterna del inversor = 360 V

$\cos \varphi$ : Factor de potencia del inversor = 1

$I_{N.Inv.}$ : Corriente nominal del inversor

$$I_{N.Inv.} = \frac{20,000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 360 \text{ V} * 1} = 32 \text{ A}$$

Sobredimensionado =  $I_{N.Inv.} + (25\% * I_{N.Inv.})$

Sobredimensionado =  $32 \text{ A} + (0.25 * 32 \text{ A}) = 40 \text{ A}$

Que sobredimensionada al 25% es de 40 A, por encima del valor máximo dado por el fabricante, que es de 29 A. La sección del cable conductor en este tramo es de:

$$S_M = \frac{\sqrt{3} * L_M * I_{N.Inv.}}{\%cdt * V_L * \sigma} \quad \text{Ec. 2. 24}$$

Dónde:

$L_M$  (m): Longitud del conductor de conexión entre el inversor al resto de componentes en corriente alterna = 250 m

$\%cdt$ : Porcentaje de caída de tensión en AC = 5% = 0.05

$I_{N.Inv.}$  (A): Corriente nominal del inversor sobredimensionada = 40 A

$S_M$  (mm<sup>2</sup>): Sección del conductor

$V_L$  (V): Tensión de línea = 360 V

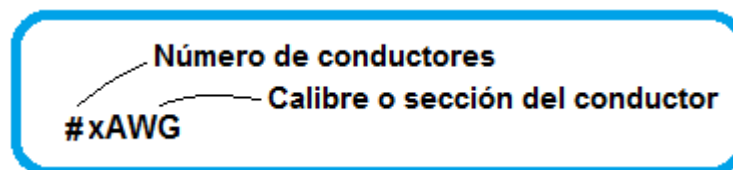
$\sigma$ : Conductividad del conductor a 90°C para aislamiento XLPE = 44 m/Ω. mm<sup>2</sup>

Para la conductividad del conductor (Ver Anexo A8)

$$S_M = \frac{\sqrt{3} * 250 \text{ m} * 40 \text{ A}}{0.05 * 360 \text{ V} * 44 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}} = 21.86 \text{ mm}^2$$

Esto indica que se debe usar un conductor calibre #2 AWG, utilizando tabla de LATINCASA (Ver Anexo A7).

#### 2.8.4. Longitud total del cableado del sistema fotovoltaico conectado a red



- Conductor calibre #12 AWG (C.C) – (1X12AWG)

Conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE)

$$L_{T1} = L_{\text{cable}} \times \text{string} * 3 \text{ string} * 11 \text{ paneles} * 2 \text{ cables positivo y negativo}$$

$$L_{T1} = 28 \text{ m} * 3 * 11 * 2 = 1,848 \text{ m}$$

- Conductor calibre #6 AWG (C.C) – (2X6AWG)

Conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE)

$$L_{T2} = L_{\text{cable del panel al inversor}} * 11 \text{ paneles}$$

$$L_{T2} = 40 \text{ m} * 11 = 440 \text{ m}$$

- Conductor calibre #2 AWG (A.C) – (3X2AWG)

Conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE)

$$L_{T3} = L_{\text{cable de la sección A.C}}$$

$$L_{T3} = 250 \text{ m}$$

- Puesta a tierra Conductor calibre #2 AWG (A.C) – (1X2AWG)

$$L_{T4} = 300 \text{ m}$$

**A continuación se presentan los resultados más significativos:**

Tabla 2. 4: Resumen de los resultados más significativos del SFCR

Diseño eléctrico	Cantidad	Fórmula
Energía proyectada estimada de la FTI por día	1,927.22 kWh	
Producción de energía estimada por día (30%)	578.17 kWh	
Potencia generada según la energía consumida/día	121,370 W	$1.1 * \frac{578.17 \text{ kWh}}{5.24 \text{ h}}$
Número total de módulos reales	495 módulos	
Potencia real generada/día por el sistema fotovoltaico	153,450 W	310 W * 495 módulos
Energía real generada/día por el sistema fotovoltaico	804,078 Wh	153,450 W * 5.24 h
Módulos en serie (String)	15 módulos	
Módulos en paralelo	3 módulos	
Número de inversores	11 inversores	
Número de módulos por inversor	45 módulos	15 módulos * 3 módulos
Número de paneles del sistema FV	11 paneles	
Inclinación de los paneles	12°	
Orientación de los paneles	Al sur	
Número de estructuras de soporte	11 estructuras	
Número total de bases de concreto	88 bases	

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### **Diseño de la estructura de soporte**

---

## **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE**

### **3.1. Cálculo de la estructura de soporte**

Para la instalación de los paneles fotovoltaicos se ha elegido la estructura fija de la Fig. 3.1, que se fabricara por la empresa ECAMI S.A.

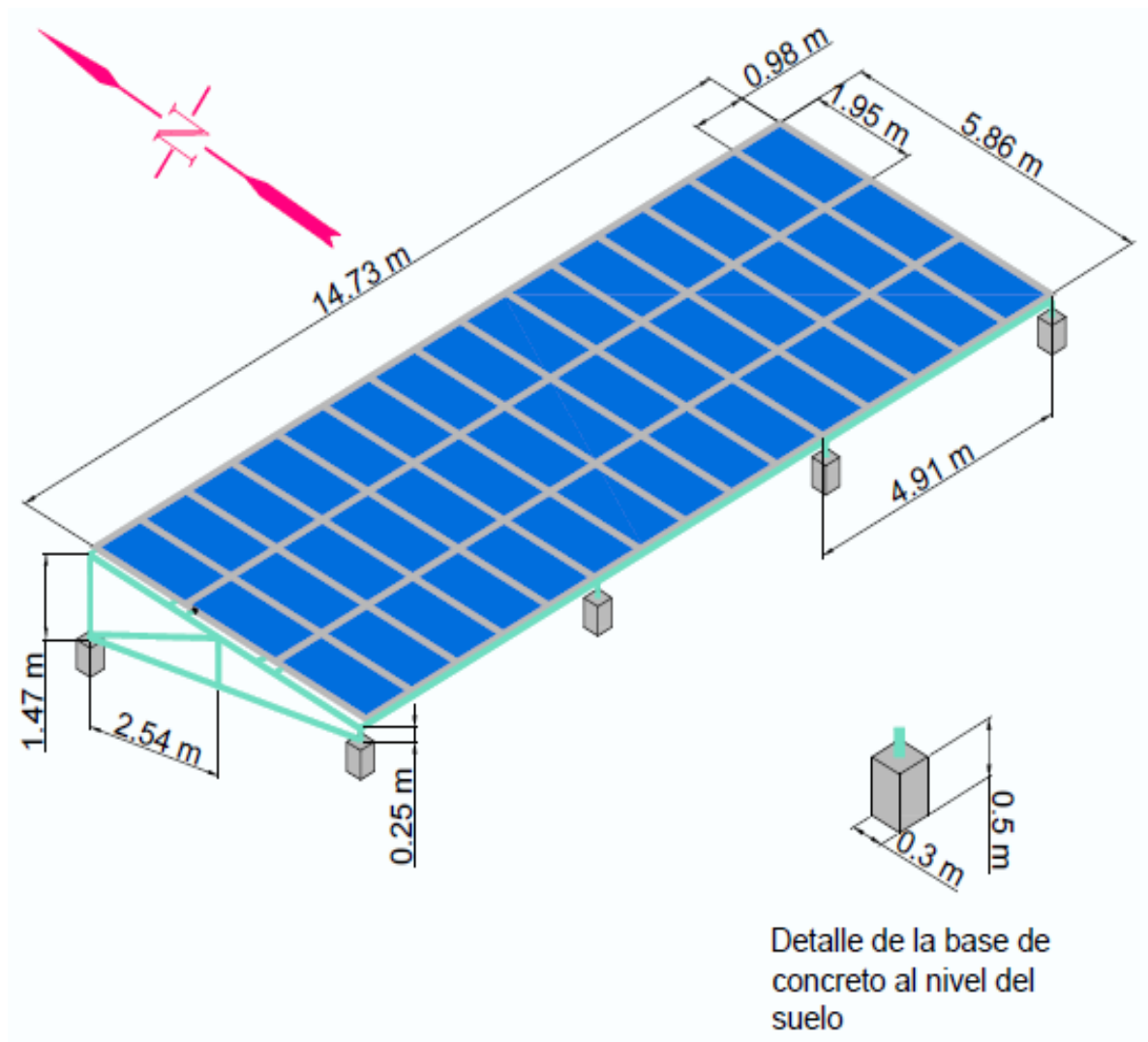
Las dimensiones de la estructura será de 14.73 m x 5.86 m y en ella se pueden instalar 15 paneles solares en serie, puesto que miden 0.98 m de anchura cada panel y 3 paneles en paralelo que miden 1.95 m de largo cada uno. Se necesitarán un total de 11 estructuras distribuidas, las cuales tendrán un total de 45 módulos por cada estructura.

Los sistemas de montaje de las estructuras (columnas, vigas de soportes, cuerdas y diagonales) serán de acero galvanizado y los travesaños donde descansan los paneles serán con perfiles de aluminio.

Esta estructura irá montada en bases de concreto reforzado, cada estructura tendrá un total de 8 bases.



Fig. 3. 1: Estructura de montaje de los paneles fotovoltaicos por inversor



Fuente: Elaboración propia

### Determinación de la velocidad de diseño $V_D$ :

Los efectos estáticos del viento sobre una estructura o componente de la misma se determinan con base en la velocidad de diseño. Dicha velocidad de diseño se obtendrá de acuerdo con la Ec. 3.1.

$$V_D = F_{TR} * F_{\alpha} * V_R \quad \text{Ec. 3. 1}$$

Dónde:

$F_{TR}$ : Factor adimensional correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante.

$F_{\alpha}$ : Factor adimensional que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura.

$V_R$ : Velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

**Según el RNC-07 (Reglamento Nacional de la Construcción):**

$F_{TR} = 0.88$  (terreno plano y urbano)

$F_{\alpha} = 1$  (altura de estructura menor de 10 m)

$V_R = 36$  m/s (velocidad para un tiempo de retorno de 200 años en Managua)

$$V_D = (0.88)(1)(36 \text{ m/s}) = 31.68 \text{ m/s}$$

**Determinación de la presión de diseño,  $P_z$ :**

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una construcción determinada,  $P_z$ , en  $\text{kg/m}^2$ , se obtiene tomando en cuenta su forma y está dada de manera general por la siguiente ecuación:

$$P_z = 0.0479 * C_P * V_D^2 \quad \text{Ec. 3.2}$$

Dónde:

$C_P$ : Coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura según el RNC-07 = 2

$V_D$ : Velocidad de diseño a la altura de la estructura

$$P_z = 0.0479(2)(31.68 \text{ m/s})^2 = 96.2 \text{ kg/m}^2$$

Carga de la estructura de soporte del panel =  $15 \text{ kg/m}^2$

Carga de los paneles formados por 45 módulos =  $12 \text{ kg/m}^2$

Carga total =  $P_z$  + carga de la estructura del panel + carga del panel

Carga total =  $96.2 \text{ kg/m}^2 + 15 \text{ kg/m}^2 + 12 \text{ kg/m}^2 = 123.2 \text{ kg/m}^2$

$$W = \text{Carga total} * A_{\text{tributaria}} * \sin \beta \quad \text{Ec. 3.3}$$

Dónde:

W: Peso total de la estructura de una armadura

$A_{\text{tributaria}}$ : Área tributaria =  $28.77 \text{ m}^2$

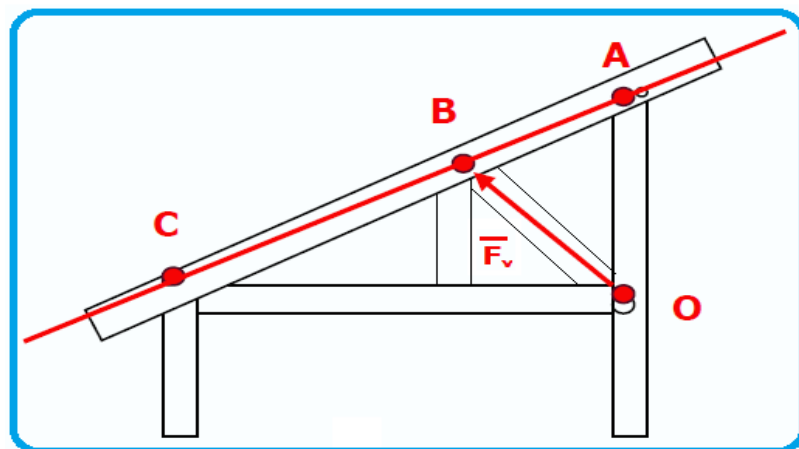
$\beta$ : Ángulo de inclinación de los paneles

$$W = 123.2 \text{ kg/m}^2 * 28.77 \text{ m}^2 * \sin 12^\circ = 737 \text{ kg}$$

### 3.1.1. Refuerzo de estructura

Para reforzar la estructura de los paneles, se instalarán bloques de concreto en las sujeciones de los soportes.

Fig. 3. 2: Diagrama de fuerzas y momentos



Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 3.2, el punto B es la mitad de la distancia de entre la distancia AC. Se procede al cálculo del momento que puede ejercer la fuerza del viento al soporte en C, y observar cómo actúa en la estructura.

Hay tres puntos claramente diferenciados A, B y C. El punto A genera un momento opuesto al generado por C, así que ayuda a la estabilidad de la estructura, y el punto B, como se encuentra en la mitad de la estructura, y es donde se concentra la gran parte de fuerza ejercida por el viento, el momento que se ejerce es 0 (la distancia del vector fuerza a B es 0).

$$M_A = W * d_{AB} \quad \text{Ec. 3. 4}$$

$$M_C = W * d_{BC} \quad \text{Ec. 3. 5}$$

Dónde:

$M_A$ : Momento en el punto A

$M_C$ : Momento en el punto C

W: Peso total de la estructura de una armadura

$d_{AB}$ : distancia AB -  $d_{AB} = 1/3 * \text{Longitud del panel (columna de módulos en paralelo)}$

$d_{BC}$ : distancia BC -  $d_{BC} = 2/3 * \text{Longitud del panel (columna de módulos en paralelo)}$

$$M_A = 737 \text{ kg} \left( \frac{1}{3} * 5.86 \text{ m} \right) = 1,439.61 \text{ kg. m}$$

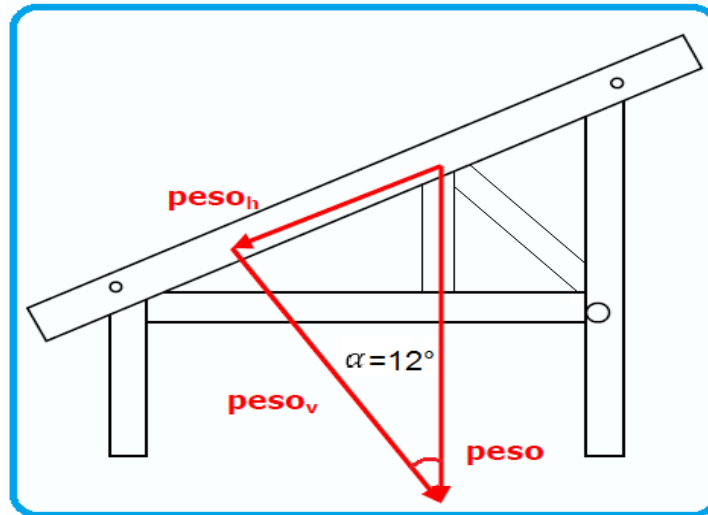
$$M_C = 737 \text{ kg} \left( \frac{2}{3} * 5.86 \text{ m} \right) = 2,879.21 \text{ kg. m}$$

Para mayor seguridad, se aumenta el par o momento un 20% del esperado, para sobredimensionar los bloques de la estructura, porque sería peligroso que en algún momento haya ráfagas de viento mayores a 36 m/s y la estructura no soporte.

$$M_{\text{máx.}} = M_C * \text{coef.} \quad \text{Ec. 3. 6}$$

$$M_{\text{máx.}} = (2,879.21)(1 + 0.2) = 3,455 \text{ kg. m}$$

Fig. 3. 3: Diagrama de fuerzas sobre los bloques de concreto



Fuente: Elaboración propia

$$\text{Peso}_v = \frac{M_{\text{máx.}}}{d_{AB}} \quad \text{Ec. 3. 7}$$

Dónde:

$M_{\text{máx.}}$ : Momento máximo

$d_{AB}$ : Distancia AB -  $d_{AB} = 1/3 * \text{Longitud del panel (columna de módulos en paralelo)}$

$$d_{AB} = \frac{1}{3} * 5.86 \text{ m} = 1.95 \text{ m}$$

$$\text{Peso}_v = \frac{3,455 \text{ kg. m}}{1.95 \text{ m}} = 1,771.8 \text{ kg}$$

$$\text{Peso} = \frac{\text{Peso}_v}{\cos \alpha} \quad \text{Ec. 3. 8}$$

$$\text{Peso} = \frac{1,771.8 \text{ kg}}{\cos 12^\circ} = 1,811.4 \text{ kg}$$

$$q_{\text{neto}} = q_A - (\gamma_{\text{concreto}} * h_{\text{Total del bloque}}) \quad \text{Ec. 3. 9}$$

Dónde:

$q_{\text{neto}}$ : Esfuerzo neto

$q_A$ : Esfuerzo admisible del suelo = 350 kN/m<sup>2</sup>

$\gamma_{\text{concreto}}$ : Peso específico del concreto = 23.5 kN/m<sup>3</sup>

$h_{\text{Total del bloque}}$ : Altura total del bloque =  $h_{\text{nivel del suelo}} + h_{\text{bajo el nivel del suelo}}$

$h_{\text{Total del bloque}}$ : 0.5 m + 0.8 m = 1.3 m

$$q_{\text{neto}} = 350 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} - \left( 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 1.3 \text{ m} \right) = 319.45 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{neto}} = \frac{F_{\text{seguridad}}(\text{Peso})}{A_{\text{mín.}}} \quad \text{Ec. 3. 10}$$

Despejando obtenemos el área del bloque:

$$A_{\text{mín.}} = \frac{F_{\text{seguridad}}(\text{Peso})}{q_{\text{neto}}}$$

Dónde:

$A_{\text{mín.}}$ : Área mínima del bloque para que pueda soportar el peso establecido

$F_{\text{seguridad}}$ : Factor de seguridad = 1.4

$q_{\text{neto}}$ : Esfuerzo neto

**Conversión:**

$$1 \text{ kN} - \frac{1,000 \text{ N}}{9.8} = 102.04 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kN} = 102.04 \text{ kg}$$

$$q_{\text{neto}} = 319.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \frac{102.04 \text{ kg}}{1 \text{ kN}} = 32,596.678 \text{ kg/m}^2$$

$$A_{\text{mín.}} = \frac{1.4(1,811.4 \text{ kg})}{32,596.678 \text{ kg/m}^2} = 0.078 \text{ m}^2$$

Tabla 3. 1: Dimensiones de los bloques de concreto

Dimensiones de los bloques de concreto			
Ancho (m)	Longitud (m)	Altura al nivel del suelo (m)	Altura enterrada (m)
0.3	0.3	0.5	0.8

$$A_{\text{real de diseño}} = 0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{real de diseño}} > A_{\text{mín.}} - \text{Cumple}$$

$0.09 \text{ m}^2 > 0.078 \text{ m}^2$  - cumple porque el área real de diseño es mayor que el área mínima para que pueda soportar el peso de los módulos.

### 3.2. Cálculo del volumen por cada base de concreto

$$V_{(1)\text{base}} = \text{Ancho} * \text{Longitud} * \text{Altura} \quad \text{Ec. 3. 11}$$

Dónde:

$V_{(1)\text{base}}$ : Volumen de cada base

$$V_{(1)\text{base}} = 0.3 \text{ m} * 0.3 \text{ m} * 1.3 \text{ m} = 0.117 \text{ m}^3$$

#### 3.2.1. Cálculo del volumen de las 8 bases por cada estructura

$$V_{(8)\text{bases}} = V_{(1)\text{base}} * N^{\circ} \text{ bases por estructura} \quad \text{Ec. 3. 12}$$

Dónde:

$V_{(8)\text{bases}}$ : Volumen de las 8 bases por estructura

$V_{(1)\text{base}}$ : Volumen de cada base

N° bases por estructura: Número de bases por estructura

$$V_{(8)\text{bases}} = 0.117 \text{ m}^3 * 8 = 0.936 \text{ m}^3$$

### **3.2.2. Cálculo del volumen de las 88 bases para las 11 estructuras de soporte**

$$V_{(88)\text{bases}} = V_{(8)\text{bases}} * \text{N}^\circ \text{ de estructuras} \quad \text{Ec. 3.13}$$

Dónde:

$V_{(88)\text{bases}}$ : Volumen de las 88 bases totales

N° de estructuras: Número de estructuras de soporte

$$V_{(88)\text{bases}} = 0.936 \text{ m}^3 * 11 = 10.296 \text{ m}^3$$



## CAPÍTULO IV

### **Propuesta de mantenimiento del SFCR**

---

## **PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DEL SFCR**

Para mantener un control óptimo general del SFCR y de las tareas particulares a realizar, la forma de hacerlas y reportes de operación a llenar, se deben de llevar a cabo tres tipos principales de mantenimiento:

1. Mantenimiento preventivo
2. Mantenimiento correctivo
3. Mantenimiento predictivo

### **4.1. Mantenimiento preventivo**

Tiene por objeto prevenir el funcionamiento ineficiente de un sistema, manteniendo las mismas condiciones óptimas que existían en su puesta en marcha inicial y minimizando el riesgo de aparición de averías. Las operaciones relativas al mantenimiento preventivo de la instalación se realizarán siguiendo un esquema realizado previamente con todas las tareas asignadas. En todo mantenimiento preventivo se debe de prestar una atención mayor a aquellos equipos e instalaciones que hubieran sido objeto de un mayor número de incidencias según el registro de historial que se lleve.

El mantenimiento de los paneles fotovoltaicos es mínimo, no tiene partes móviles sometidas a desgaste, no requiere cambio de piezas (salvo que se rompan por alguna circunstancia no prevista) o lubricación. Dos aspectos a tener en cuenta son por asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos FV donde normalmente la lluvia se encarga de realizar la limpieza de los mismos.

#### **Las tareas a realizar son:**

- Limpiar periódicamente la cara expuesta al sol de las placas fotovoltaicas. Normalmente la lluvia ya se encarga de hacerlo, pero es importante asegurarlo.

Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza con agua (sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos) después de muchos días sin llover, después de una lluvia de fango. Es recomendable limpiar los paneles, sobre todo en verano, fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel.

- Revisar el buen estado de los soportes, fijaciones y tornillería al menos una vez al año, y realizar los tratamientos adecuados (pinturas, recubrimientos), para evitar que se estropeen.
- Evitar que los cables que salen de las placas hacia el resto de la instalación queden expuestos sin protección.
- Comprobar, durante el día, las protecciones y conexiones eléctricas y el tendido de los cables.
- Revisar que la aparición de nuevas sombras (vegetación, nuevas construcciones) no disminuya la capacidad de producción eléctrica de la instalación.

**Se debe realizar el mantenimiento en las siguientes partes:**

- Cajas de agrupamiento.
- Cuadros eléctricos
- Cableado
- Sistema de puesta a tierra.
- Mantenimiento de los inversores de conexión a red.
- Mantenimiento del terreno.

Estas tareas de mantenimiento se deben realizar al menos una vez al año.

## **4.2. Mantenimiento correctivo**

Se conoce como mantenimiento correctivo a toda operación de reparación de averías o defectos que puedan surgir en la instalación fotovoltaica. Normalmente se puede subsanar la situación con el reemplazo de los elementos dañados, aunque otras veces es necesaria una reparación y debe de realizarse por personal especializado. En este tipo de mantenimiento es fundamental el tiempo de respuesta, teniendo en cuenta que el tiempo perdido en la reparación repercute en la producción del SFV. Un punto fundamental en el mantenimiento correctivo es la pronta detección de la falla, por el método o recurso disponible que sea.

## **4.3. Mantenimiento predictivo**

Los trabajos de mantenimiento predictivo del SFV consistirán en la atención diaria a las contingencias. Las actividades a realizar serán, controlar las operaciones de arranque y paro de los sistemas, inversores, la vigilancia y supervisión de la adecuada operación de producción, el análisis de las señales, alarmas y parámetros de la planta fotovoltaica como corrientes, tensiones, potencias; y la adecuada intervención para evitar averías graves.

## CAPÍTULO V

### **Determinación de la viabilidad económica del proyecto**

---

## DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para llevar a cabo la instalación es necesario determinar el costo aproximado del material utilizado y de la mano de obra que se requerirá en el proceso de la instalación.

### 5.1. Total del material utilizado

Los precios de los componentes que se utilizarán fueron proporcionados por las empresas en dólares y tomando en cuenta que un dólar está en 29.00 córdobas.

Tabla 5. 1: Costo de los componentes para la instalación del SFCR

CANT.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	PRECIO UNIT. U\$	TOTAL U\$
495	Módulos Canadian Solar MAX POWER CS6X-310P	\$279.00	\$138,105.00
11	Sunny Tripower 20000TL-US includes SWDM-US-10 (built-in)	\$6,090.00	\$66,990.00
11	Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC	\$45.00	\$495.00
11	Delta Lightning Arrestor LA 602-R (AC)	\$50.00	\$550.00
1	TRANSF.SEC.30KVA- 3F-PR.480 DELTA-SEC.120/208ESTRELLA	\$1,690.00	\$1.690.00
1	P4320 Kill-A-Watt PS Meter- Estabilizador 1.5KVA	\$170.00	\$170.00
11	Centro de cargas	\$500.00	\$5,500.00
11	Estructuras para paneles	\$1,716.61	\$18,882.71
1	Solar Inverter Monitor Schneider	\$300.00	\$300.00
1848	Cable 12 para conexiones	\$0.80	\$1,478.40
440	Cable 06 para conexiones	\$2.44	\$1,073.60
250	Cable 02 para conexiones	\$4.83	\$1,207.50

300	Cable 02 para conexiones	\$4.83	\$1,449.00
1	Mano de obra de instalación	\$7,764.00	\$7,764.00
<b>Sub Total</b>			\$245,655.21
<b>IVA</b>			\$13,726.93
<b>TOTAL NETO U\$</b>			\$259,382.14
<b>T/C</b>			29.00
<b>C\$</b>			7,522,082.06

Fuente: ECAMI S.A.

Tabla 5. 2: Material utilizado para la construcción de las 88 bases de concreto

<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Precio Unit. C\$</b>	<b>Total C\$</b>
7 m <sup>3</sup>	Arena Metro Cubico	343.48	343.48
11 m <sup>3</sup>	Piedrín Metro Cubico	521.74	521.74
94 bolsas	Cemento CANAL x Bolsa	236.53	2,128.77
98 varillas	Hierro 3/8 CORR STD Varilla de 6m	60.25	5,904.50
600 und.	Estribos cuadrado	1.80	1,080.00
352 und.	Pernos de alta resistencia de 29,000 Ksi – Diá. ½"	28.40	9,996.80
5 tabloncillos	Madera para formaletas de 10pulg. X 1pulg. X 8varas(6m)	500.00	2,500.00
30 libras	Alambre de amarre	50.00	1,500
<b>Sub Total C\$</b>			<b>23,975.29</b>
<b>Impuesto C\$</b>			<b>3,596.30</b>
<b>TOTAL NETO C\$</b>			<b>27,571.59</b>
<b>T/C</b>			<b>29.00</b>
<b>U\$</b>			<b>950.74</b>

**Mano de obra de la construcción de las bases:** C\$ 70,400.00 = \$ 2,427.59

Para tener el costo total del SFCR se tiene que sumar el costo de los componentes del sistema incluyendo la mano de obra de la instalación (Ver Tabla 5.1) más el costo del material utilizado para la construcción de las 88 bases de las estructuras (Ver Tabla 5.2) más el costo de mano de obra para la construcción de las bases.

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de los componentes SFCR} + \text{Costo del material de las bases} + \text{Costo de M. obra de las bases} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$\text{Costo Total} = \$259,382.14 + \$950.74 + \$2,427.59 = \$262,760.47 = \text{C\$7,620,053.63}$$

De esta forma el costo total aproximado del sistema fotovoltaico es de Doscientos Sesenta y dos mil, Setecientos sesenta dólares con Cuarenta y siete centavos dólar.

## 5.2. Cálculo de la energía eléctrica propuesta con paneles fotovoltaicos

Para obtener la energía que será generada durante la vida útil de los paneles FV que es de 25 años, se calcula con la Ec. 5.2.

$$E_{G(25 \text{ años})} = \frac{P_{\text{Módulo}} * N_{O. \text{ de módulos}} * h_{\text{pico}} * 365 \text{ días} * N_{O. \text{ de años}}}{1,000} \quad \text{Ec. 5.2}$$

$$E_{G(25 \text{ años})} = \frac{(310W)(495)(5.24h)(365)(25)}{1,000} = 7,337,211.75 \text{ kWh}$$

Si se requiere saber la energía generada mensual solo se debe de dividir entre el número de meses totales que son 300 meses que tienen 25 años.

$$E_{G(\text{mensual})} = \frac{E_{G(25 \text{ años})}}{300 \text{ meses}} \quad \text{Ec. 5.3}$$



$$E_{G(\text{mensual})} = \frac{7,337,211.75 \text{ kWh}}{300 \text{ meses}} = 24,457.37 \text{ kWh/mes}$$

La energía total mensual generada es de 24,457.37 kWh/mes, que es la que se puede aprovechar en un mes en condiciones óptimas de radiación solar. Considerando esto se puede conocer el ahorro económico que se tiene durante un mes de energía eléctrica consumida.

### 5.3. Costo por consumo de la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos

Una vez obtenida la energía generada del sistema FV, se calculara el costo por consumo con paneles FV (mensual), tomando en consideración la carga estimada que se tiene en el edificio y la tarifa energética promedio será igual a C\$ 4.2 por kWh consumida.

$$\text{Costo por consumo} = (E_{G(\text{mensual})})(\text{Tarifa energética}) \quad \text{Ec. 5.4}$$

$$\text{Costo por consumo} = (24,457.37 \text{ kWh/mes}) \left( 4.2 \frac{\text{C\$}}{\text{kWh}} \right) = 102,720.954 \text{ C\$/mes}$$

$$\text{Costo por consumo} = 3,542.10 \text{ \$/mes}$$

Con esto se tiene un ahorro de \$ 3,542.10 dólares por cada mes de facturación, que es un gran ahorro ya que con esto se puede amortizar el costo inicial del SFV.

El edificio de la FTI tiene un consumo estimado de 31,127.28 kWh/mes con una tarifa de 4.2 C\$/kWh obteniendo un costo total de energía del edificio de C\$ 130,734.576 córdobas/mes (4,508.08 \$/mes). Pero si se instala el sistema fotovoltaico se obtendría un ahorro económico de 3,542.10 \$/mes, lo cual representaría el 78.57% del costo total de energía de dicho edificio.

### 5.3.1. Amortización del sistema fotovoltaico

En esta sección se calculará el tiempo estimado, en que el sistema fotovoltaico tendrá una amortización económica y la viabilidad del proyecto si es que se pretende llevar a cabo. Teniendo los siguientes datos se puede calcular el tiempo en que se tendrá una amortización:

Costo total del sistema: \$ 262,760.47

Costo por consumo (ahorro mensual): \$ 3,542.10

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Costo total del sistema}}{\text{Costo por consumo (Ahorro mensual)}} \quad \text{Ec. 5.5}$$
$$\text{Amortización} = \frac{\$ 262,760.47}{\$ 3,542.10} = 74.18 \text{ meses}$$

Con el resultado anterior se puede observar que en 74.18 meses (aproximadamente 6 años con 3 meses), habrá una amortización en el costo inicial del sistema fotovoltaico.

En este estudio se tomó en cuenta la factura de consumo eléctrico de todo el recinto tomando como base el mes de Julio del año 2016, donde se muestra que la universidad pago en dicho mes un total de C\$1, 069,659.15. Pero si se instala el sistema fotovoltaico se tendría un ahorro económico en el edificio de la FTI de 102,720.954 C\$/mes lo cual representa el 9.6% del pago total de la factura eléctrica de todo el recinto.

## CONCLUSIONES

La finalidad del presente trabajo es proponer el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para el edificio de la FTI, situado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios. Obteniendo del presente estudio los fundamentos necesarios de ubicación y consumo energético para el desarrollo de una de las aplicaciones de generación eléctrica ecológica con más futuro como es el sistema fotovoltaico conectado a red.

El estudio realizado propicia la creación de un sistema fotovoltaico con fines de ahorro energético para la Universidad Nacional de Ingeniería, obteniendo resultados satisfactorios en el dimensionamiento y cálculos de los componentes necesarios para el sistema fotovoltaico de conexión a red.

Se ha seleccionado la tecnología más adecuada y con mayor calidad con la finalidad de proporcionar confianza y seguridad al beneficiario interesado en aplicar este tipo de sistema fotovoltaico.

Logramos proponer un plan de mantenimiento que contribuirá de manera positiva con la vida útil de todos los componentes del sistema de forma significativa y al aplicarse de manera correcta se evitaban pérdidas y se reducen los altos costos económicos que acarrea cambiar un elemento del sistema.

Concluimos al diseñar el sistema fotovoltaico de conexión a red que es técnicamente y económicamente viable ya que la universidad podría recuperar la inversión en un período de seis años con dos meses aproximadamente.

Como finalidad de nuestro trabajo se logró realizar el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para cubrir el 30% de la demanda energética del edificio de la FTI ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

## RECOMENDACIONES

Realizar un balance de carga en el edificio de la FTI con el objetivo de evitar sobrecargas, aumento en el consumo de energía y los costos de operación.

Si se llevara a cabo este proyecto efectuar mantenimiento al sistema fotovoltaico para alargar la vida útil de los equipos.

Desconecte los equipos electrodomésticos en los días de tormentas eléctricas fuertes y ciclones para evitar que una descarga atmosférica pueda averiarlos.

No conecte equipos de potencia superior a la del inversor CD/CA, pues esta sobrecarga puede dañarlo.

Fíjese regularmente en los indicadores lumínicos del controlador de carga y en caso de notar que alguno de ellos no enciende, contacte inmediatamente al personal especializado.

Si alguna lámpara no enciende y el tubo fluorescente no está fundido ni defectuoso, revise tanto el fusible (si lo tiene) como el interruptor. Si alguno está defectuoso, reemplácelo por otro.

Recuerde siempre que en los sistemas fotovoltaicos, como la energía es limitada, se hace mucho más necesario el ahorro al máximo. Por tanto, no mantenga luces o equipos encendidos innecesariamente.

Comprar los equipos para el sistema fotovoltaico a la empresa ECAMI S.A. la cual vende los equipos con una buena calidad, aparte de tener el personal calificado para dicha instalación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Metodología de la Investigación. Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio. Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Metodología de la Investigación Pedagógica y Psicológica Parte I y Parte II. Gastón Pérez Rodríguez, Irma Nocedo León. Editorial Pueblo y Educación.
- Guía del inversionista en energías renovables para el sector eléctrico de Nicaragua. Dirección General de Electricidad y Recursos Renovables (DGERR), Ministerio de Energía y Minas (MEM). Nicaragua, 2010.
- Sistema de Energía Fotovoltaica de acuerdo a las Normas de seguridad: Prácticas recomendadas para Centroamérica. Código Eléctrico Nacional (NEC), USA. Sandia National Laboratories, Agosto 2003.
- Guía Técnica Diseño e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos y Conectados a la Red a pequeña escala. Laboratorio de Innovación y Desarrollo de Energías Renovables (LIDER). Universidad Nacional Agraria. Managua, Noviembre de 2014.
- Guía Técnica de Aplicación para Instalaciones de Energías Renovables- instalaciones fotovoltaicas. Dirección General de Industria y Energía. Gobierno de Canarias, España.

### Sitios Web:

<http://www.mem.gob.ni>

<https://es.wikipedia.org>

<http://www.sitiosolar.com>

<http://energiza.org>

<http://www.iie.org.mx>

<http://dspace.unia.es>

<http://www.laprensa.com.ni>

<http://www.italcam.org.ni>

**Programas y software:**

- Software de cálculo para la radiación solar **METEONORM**
- Software para diseño fotovoltaico **SOLARIUS-PV**
- Microsoft Excel
- Auto CAD 2014

# **Anexo A**

## **Tablas**

---

## Anexo A1: Consumo eléctrico estimado en la planta baja

AIRES ACONDICIONADOS SPLIT								
Capacidad del Equipo	Eficiencia EER	Potencia del Equipo	Cantidad De Equipos	Tiempo de Uso al Día Hora (0:00-24:00)		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
(BTU/h)	(BTU/h/W)	(kW)		Encendido	Apagado	(Hrs/día )	(kWh/día)	(kW)
12,000	7.90	1.519	1	8.00	16.50	8.50	12.91	1.52
18,000	8.40	2.143	6	7.00	18.00	11.00	141.43	12.86
24,000	9.00	2.667	2	7.50	17.00	9.50	50.67	5.33
25,000	9.23	2.709	2	8.00	20.50	12.50	67.71	5.42
36,000	10.15	3.547	2	8.00	16.50	8.50	60.30	7.09
48,000	11.96	4.013	3	8.00	16.50	8.50	102.34	12.04
60,000	14.44	4.155	2	7.00	20.00	13.00	108.03	8.31
TOTAL DE ENERGÍA CONSUMIDA ESTIMADA							543.39	
Carga Conectada Total Estimada								52.57

TOTAL kW Conectados en Acondicionamiento	52.57
TOTAL kWh en Acondicionamiento diario	543.39

EQUIPOS E ILUMINACIÓN							
Tamaño del Equipo	Potencia del Equipo	Cantidad De Equipos	Tiempo de Uso al Día Hora (0:00-24:00)		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
(Pies Cúbicos)	(kW)		Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Microonda	1.000	1	12.00	13.00	1.00	1.00	1.00
Tipo	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día Hora (0:00-24:00)		Horas	Consumo	Carga
De	del Equipo	De	Hora (0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
Equipo	( W)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Computadora de escritorio	0.300	30	8.00	16.00	8.00	72.00	9.00
Computadora portátil	0.060	9	8.00	15.00	7.00	3.78	0.54
Impresora	0.150	6	8.00	16.50	8.50	7.65	0.90
Parlantes de computadoras	0.500	2	14.00	16.00	2.00	2.00	1.00
Teléfono	0.010	3	8.00	16.50	8.50	0.26	0.03
Data Show	0.220	2	8.00	16.00	8.00	3.52	0.44
Proyector	0.400	1	8.00	16.00	8.00	3.20	0.40
Radio Grabadora SONY	0.600	1	9.00	10.00	1.00	0.60	0.60



Tipo	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día		Horas	Consumo	Carga
de	del Equipo	De	Hora (0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
Equipo	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Cafetera Oster	0.750	2	8.00	9.00	1.00	1.50	1.50
Oasis (Dispensador de agua)	0.065	1	8.00	16.50	8.50	0.55	0.07
Tipo	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día		Horas	Consumo	Carga
de	del Equipo	De	Hora (0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
Luminaria	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Bombillo ahorrativo 1U	0.013	8	18.00	24.00	6.00	0.62	0.10
Lámparas de emergencia	0.021	2	10.00	12.00	2.00	0.08	0.04
Luminarias tubular T12 2X40W	0.080	98	8.00	21.00	13.00	101.92	7.84
Lámpara tubular T12 1X40W	0.040	6	8.00	16.50	8.50	2.04	0.24
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA ESTIMADA						200.73	
Carga Conectada Total Estimada							23.70

TOTAL kW Conectados en Equipos e iluminación	23.70
TOTAL kWh Diarios en Equipos e iluminación	200.73

CONSUMO ELÉCTRICO TEÓRICO PLANTA BAJA	
TOTAL CARGA CONECTADA	76.27 kW
TOTAL kWh DIARIOS	634.39kWh

## Anexo A2: Consumo eléctrico estimado en la planta alta

AIRES ACONDICIONADOS CENTRALES								
Capacidad del	Eficiencia	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día		Horas	Consumo	Carga
Equipo	EER	del Equipo	De	Hora (0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
(Toneladas)	(BTU/h/W)	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
3.0	10.15	3.547	1	8.00	16.50	8.50	30.15	3.55
4.0	11.96	4.013	6	8.00	18.00	10.00	240.80	24.08
5.0	14.44	4.155	5	8.00	21.00	13.00	270.08	20.78
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA ESTIMADA							541.03	
Carga Conectada Total Estimada								48.40

TOTAL kW Conectados en Acondicionamiento	48.40
TOTAL kWh en Acondicionamiento diario	541.03

EQUIPOS E ILUMINACIÓN							
Tamaño del Equipo	Potencia del Equipo	Cantidad De	Tiempo de Uso al Día		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
(Pies Cúbicos)	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Microonda	1.000	1	12.00	13.00	1.00	1.00	1.00
Tipo de Equipo	Potencia del Equipo	Cantidad De	Tiempo de Uso al Día		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Computadora de escritorio	0.300	36	8.00	16.50	8.50	91.80	10.80
Computadora portátil	0.060	9	8.00	16.00	8.00	4.32	0.54
Impresora	0.150	6	8.00	16.50	8.50	7.65	0.90
Parlantes de computadoras	0.500	4	14.00	16.00	2.00	4.00	2.00
Teléfono	0.010	1	8.00	16.50	8.50	0.09	0.01
Tipo de Equipo	Potencia del Equipo	Cantidad De	Tiempo de Uso al Día		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Refrigeradora Mediana	0.290	1	8.00	16.50	8.50	2.47	0.29
Tipo de Equipo	Potencia del Equipo	Cantidad De	Tiempo de Uso al Día		Horas diarias	Consumo Diario	Carga Conectada
	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Cafetera Jack POT JP-203	0.600	1	8.00	9.00	1.00	0.60	0.60
Abanico	0.100	1	13.00	14.00	1.00	0.10	0.10
Tipo	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día		Horas	Consumo	Carga

de	del Equipo	de	Hora (0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
Luminaria	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Bombillo ahorrativo 2U	0.014	14	8.00	16.50	8.50	1.67	0.20
Luminarias tubular T12 2X40W	0.080	85	8.00	21.00	13.00	88.40	6.80
Lámpara tubular T12 1X40W	0.040	7	8.00	16.00	8.00	2.24	0.28

**TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA ESTIMADA** 76.50

**Carga Conectada Total Estimada** 23.52

<b>TOTAL kW Conectados en Equipos e iluminación</b>	<b>23.52</b>
<b>TOTAL kWh Diarios en Equipos e iluminación</b>	<b>76.50</b>

CONSUMO ELÉCTRICO TEÓRICO PLANTA ALTA	
<b>TOTAL CARGA CONECTADA</b>	<b>71.92 kW</b>
<b>TOTAL KWH DIARIOS</b>	<b>617.53 kWh</b>

### Anexo A3: Consumo estimado en el área exterior

Tipo	Potencia	Cantidad	Tiempo de Uso al Día				Horas	Consumo	Carga
de	del Equipo	De	Hora 1(0:00-24:00)		Hora 2(0:00-24:00)		diarias	Diario	Conectada
Luminaria	(kW)	Equipos	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado	(Hrs/día)	(kWh/día)	(kW)
Bombillo ahorrativo 2U	0.014	35	18.00	24.00	0.00	7.00	13.00	6.37	0.49
Bombillos ahorrativos (Faros)	0.175	9	18.00	24.00	0.00	7.00	13.00	20.48	1.58
Luminarias públicas (HID)	0.175	8	18.00	24.00	0.00	7.00	13.00	18.20	1.40

**TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA ESTIMADA** 45.05

**Carga Conectada Total Estimada** 3.47

<b>TOTAL kW Conectados en Iluminación</b>	<b>3.47</b>
<b>TOTAL kWh Diarios en Iluminación</b>	<b>45.05</b>

CONSUMO ELÉCTRICO TEÓRICO ÁREA EXTERIOR	
TOTAL CARGA CONECTADA	3.47 kW
TOTAL kWh DIARIOS	45.05 kWh

#### Anexo A4: Consumo total estimado según levantamiento de censo de carga

CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA ESTIMADA	
Carga Total Estimada Conectada del Edificio	151.66 kW
Consumo Diario Total Estimado del Edificio	1,296.97 kWh

#### Anexo A5: Consumo de energía por cada área del edificio

Consumo por área			
Área	Consumo por Área (kWh/día)	Carga por Área (kW)	Porcentaje (%)
Planta Baja	634.39	76.27	48.91%
Planta Alta	617.53	71.92	47.61%
Área Exterior	45.05	3.47	3.47%
<b>Total</b>	1296.97	151.66	100.00%

## Anexo A6: NASA meteorología de superficie y la energía solar

La latitud 12.136 / longitud -86.224

Parámetros para el dimensionamiento y el señalar de los paneles solares y para aplicaciones de energía solar térmica:

La insolación mensual promediado incide sobre una superficie horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /día)													
Lat 12.136° Lon -86.224°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Estadísticas de los últimos 22 años	5.55	6.06	6.69	6.52	5.77	5.69	5.78	5.75	5.36	5.27	5.24	5.33	5.74

Diferencia mínima y máxima de mensual promediado insolación (%)													
Lat 12.136° Lon -86.224°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Mínimo	-8	-7	-6	-6	-15	-15	-10	-21	-19	-26	-9	-6	
Máximo	6	5	5	7	14	11	9	11	13	13	8	8	

Parámetros para el tamaño de la batería o de otros sistemas de almacenamiento de energía:

Número equivalente de NO-sol o días nublados (días)													
Lat 12.136° Lon -86.224°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1 día	0.47	0.44	0.39	0.89	0.88	0.95	0.90	0.94	0.95	0.96	0.85	0.45	

3 días	1.05	0.74	0.65	1.41	2.32	2.20	1.48	2.47	2.48	2.87	2.45	0.84
7 días	1.22	1.30	1.09	2.06	4.58	2.73	1.88	3.06	3.74	5.32	3.65	1.16
14 días	1.99	1.94	1.94	2.11	5.22	2.70	2.42	3.66	4.29	6.17	4.17	1.89
21 días	2.17	2.25	1.97	1.86	5.58	2.66	2.87	4.88	5.18	8.25	3.28	1.85
Mes	2.56	2.03	1.89	1.79	4.62	4.42	2.94	6.57	5.65	7.94	2.57	1.91

---

### Meteorología (Temperatura):

---

Promedio Mínimo, Máximo y la amplitud de la temperatura media diaria de la Tierra (° C)													
Lat 12.136° Lon - 86.224°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Amplitud Anual
Mínimo	20.8	21.7	23.1	24.4	23.9	22.8	22.1	22.1	22.4	21.8	21.0	20.6	
Máximo	34.3	37.4	40.9	42.1	35.8	31.5	31.5	32.0	31.4	30.9	31.2	32.3	
Amplitud	6.78	7.86	8.89	8.83	5.96	4.31	4.72	4.95	4.50	4.51	5.09	5.87	10.7

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

## Anexo A7: Selección del calibre del conductor



Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30°C.

Calibre  AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal  mm <sup>2</sup>	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 THHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
		Cobre			Aluminio		
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

\* A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta norma, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (\*), no se debe superar 15 A para 14 AWG, 20 A para 12 AWG y 30 A para 10 AWG, todos de cobre.

Fuente: Latincasa

**Anexo A8: Conductividades  $\gamma$  (en  $m/\Omega \cdot mm^2$ ) para el cobre y el aluminio, a distintas temperaturas**

**PVC**

**XLPE/EPR**

Material	C <sub>20</sub>	C <sub>40</sub>	C <sub>70</sub>	C <sub>90</sub>
Cobre	56	52	48	44
Aluminio	35	32	30	28
Temperatura	20 °C	40 °C	70 °C	90 °C

Fuente: Reglamento electrotécnico para baja tensión (RBT)

**Anexo A9: Factores de fabricación de concreto**

Tabla para factores de fabricación de concreto

Proporción x Volúmenes	Cemento		Arena Colada	Piedra Triturada	Resistencia a la Compresión a los 28 días	
	Kilos	Sacos	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	PSI	kg/cm <sup>2</sup>
1-2-2	420	10	0.670	0.670	3080-3540	220-260
1-2-2 1/2	380	9	0.600	0.760	3080-3640	220-260
1-2-3	350	8 1/5	0.555	0.835	2800-3360	200-240
1-2-3 1/2	320	7 ½	0.515	0.900	2660-3360	190-240
1-2-4	300	7	0.475	0.550	2520-3360	180-240
1-2 1/4-4	280	6 ½	0.555	0.890	2380-3220	170-230
1-3-3	300	7	0.715	0.915	2100-2666	150-190
1-3-4	260	6 1/8	0.625	0.835	1960-2520	140-180
1-3-5	230	5 ½	0.555	0.920	1540-1800	110-140
1-3-6	210	5	0.500	1.000	1400-1820	100-130
1-4-7	175	4 1/8	0.555	0.976	1120-1540	80-100
1-4-8	100	3 ¾	0.515	1.025	980-1400	70-100

Fuente: Monografía de Ing. María Toruño Villavicencio/Mayo 1988

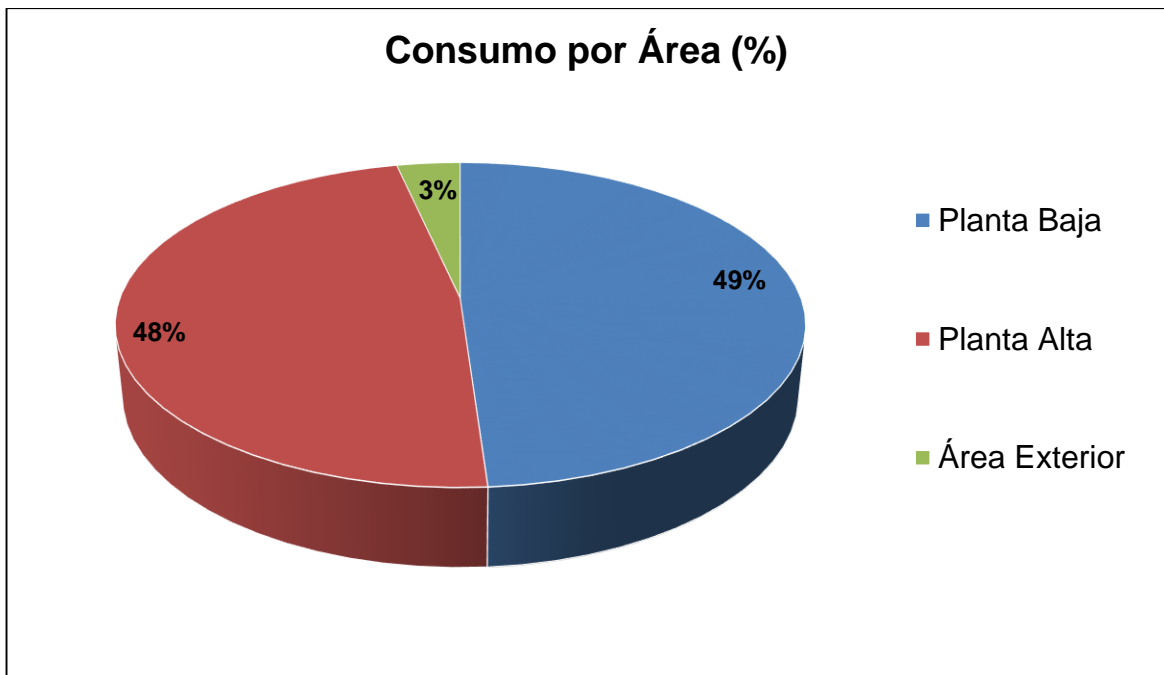


## **Anexo B**

### **Gráficas**

---

### Anexo B1: Consumo eléctrico por cada área del edificio



## Anexo B2: Gráfica de irradiación solar

### Geographic data

Country: Nicaragua

Town: Facultad de Tecnología de la Industria

Latitude [°]: 12 8 10 N 12.1361 N

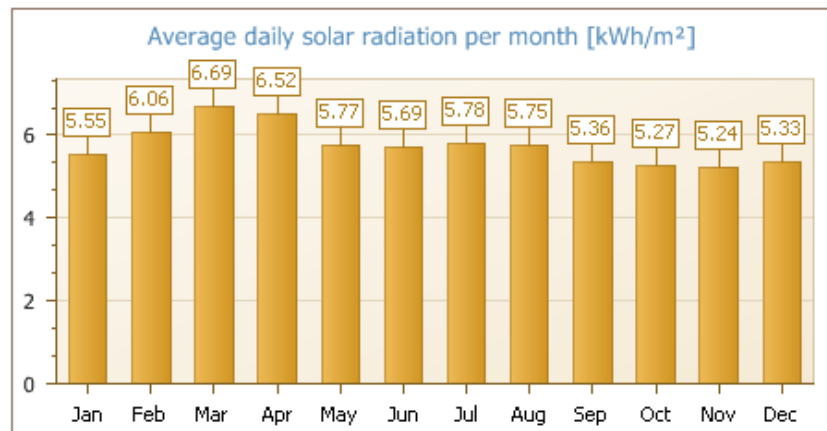
Longitude [°]: 86 13 26 W 86.2239 W

Altitude [m]: 106

### Solar radiation on horizontal plane

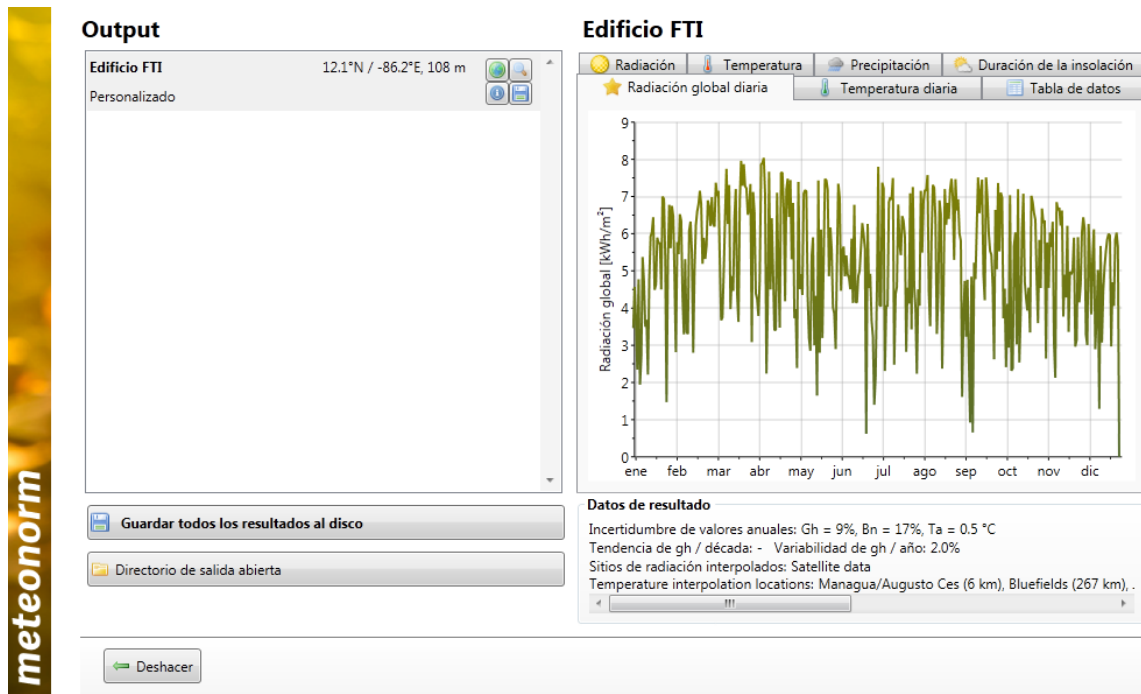
Annual solar radiation [kWh/m <sup>2</sup> ]	2 098.32											
Average daily solar radiation per month [kWh/m <sup>2</sup> ]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	5.55	6.06	6.69	6.52	5.77	5.69	5.78	5.75	5.36	5.27	5.24	5.33
Source	Nasa											

- ☐ [MJ/m<sup>2</sup>]  
☒ [kWh/m<sup>2</sup>]



Fuente: Software para diseño fotovoltaico **SOLARIUS-PV**

## Anexo B3: Gráfica del comportamiento mensual de la radiación global diaria



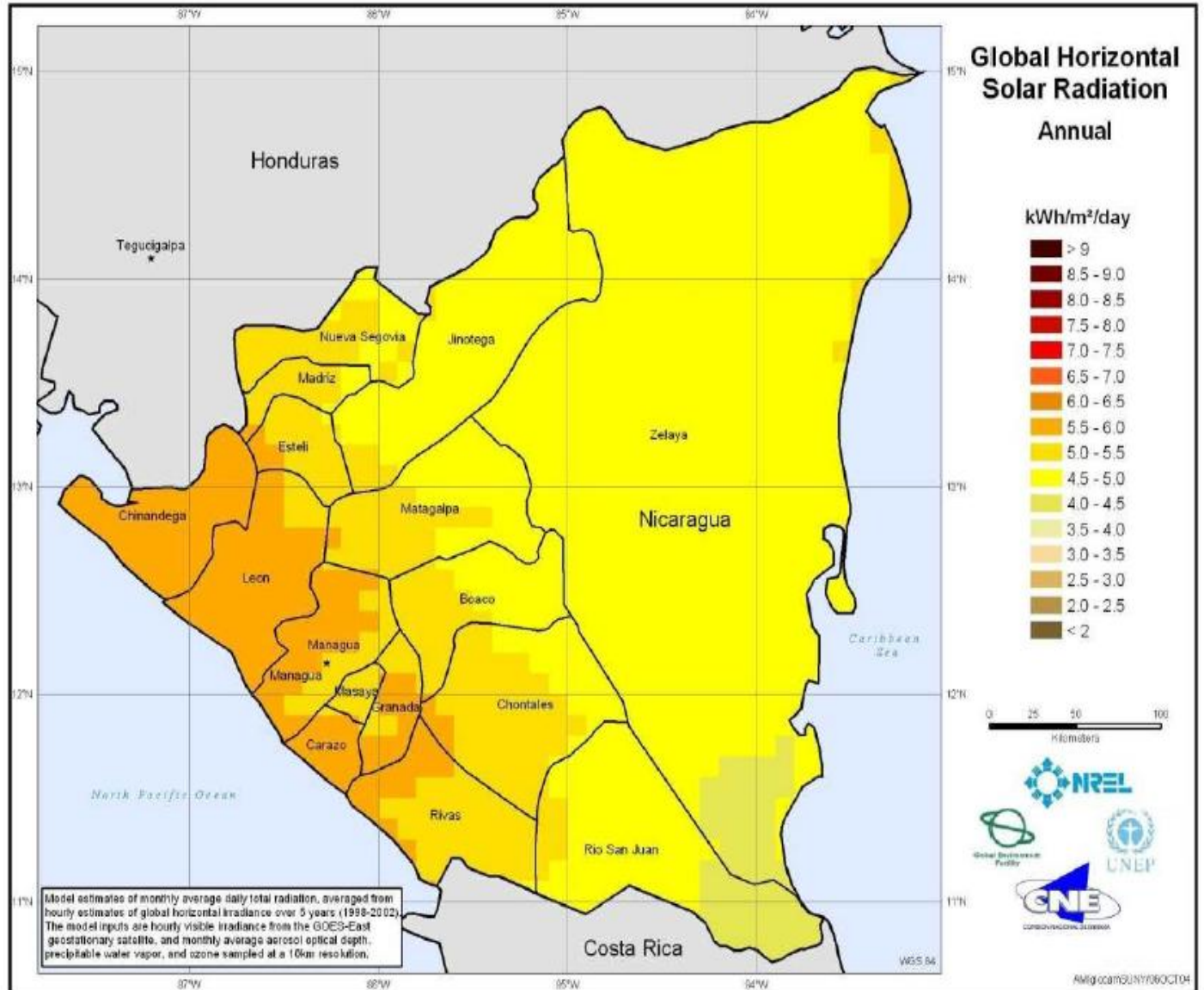
Fuente: Software de cálculo para la radiación solar **METEONORM**

## **Anexo C**

### **Figuras**

---

## Anexo C1: Mapa de Radiación Solar en Nicaragua



Fuente: <http://fuentesrenovables.blogspot.com/2007/12/mapa-solar-de-nicaragua.html>

## Anexo C2: Factura energética de la UNI-RUPAP del mes de Julio 2016 NIS-2032582

<b>DISNORTE-DISSUR</b> DUPL		NIS: 2032582			
Distribuidora de Electricidad del Sur, S.A. J0310000003750		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL, DE INGENIERIA DISSUR</b> MANAGUA LLANO GRANDE # 1, LLANO GRANDE # 1 3389 80 PB T TECNOLÓGICO DE NI CDO S VILLA PROGRESO DISTR. En mano 1210.40.20.34 MED. 1590547IT			
Oficina Comercial	Referencia de Cobro SV	Mes de Factura	Días Facturado	Fecha de Emisión	Fecha de Vencimiento
Norte	2032582215	JULIO	31	29/07/2016	31/12/2022
DIRECCIÓN DEL SUMINISTRO LLANO GRANDE # 1, LLANO GRANDE # 1 3389 80 PB			TÍTULO DEL CONTRATO UNIVERSIDAD NACIONAL, DE INGENIERIA DISSUR		NÚMERO DE FACTURA F122016071177658
TIPO DE CONSUMO	NÚMERO DE MEDIDOR	LECTURA ANTERIOR	LECTURA	MULT.	CONSUMO
Reactiva (Alta Tensión) kWh	1590547IT	34798	352	1	35000
Activa (Alta Tensión) kWh	1590547IT	92409	981	1	92100
Demanda MW BT Totalizador	1590547IT	580601	369	1	581000
<b>DETALLE DE FACTURACIÓN</b>					
					IMPORTE EN C\$
PERIODO DE CONSUMO		TARIFA	KW CONT.	FACT. POT	
Desde 25/06/2016 Hasta 25/07/2016		720 MT. GRAL MAYOR BINOM.S	633	1	
<b>Información Complementaria</b>					
Energía (kwh)	C\$ kwh	Importe			
9010	4,191.70	37,767.22			
9010	4,191.70	37,767.22			
9010	4,191.70	37,767.22			
94090	4,209.00	363,634.81			
94090	4,209.00	363,634.81			
94090	4,209.00	363,634.81			
			TOTAL FACTURADO 1,069,659.15		
			CUOTA CIC		
			TOTAL A PAGAR 1,069,659.15		
<b>DETALLE MOROSIDAD</b>					
90 o mas días	60 días	30 días	Saldo Arreglo de Pago		
0.00	0.00	0.00			
EL CONSUMO DE ESTA FACTURA ES:					TOTAL DEUDA 1,069,659.15
<input checked="" type="checkbox"/> REAL <input type="checkbox"/> ESTIMADO					
AHORA A SU DISPOSICIÓN NUESTRAS OFICINAS DE ATENCIÓN TELEFÓNICA 24 HORAS AL TELÉFONO 125  A los clientes que sean responsables recaudadores del IVA o ISC, agentes retenedores del IR y contribuyentes sujetos al régimen de Cuota fija se les informa que conforme al art. 143 numeral 4 de la LCT deben presentar copia de la deuda RUC en cualquiera de Nuestros Centros de Atención al Cliente		<b>Consumo de energía (kwh / mes)</b> 		SU CONSUMO MEDIO DURANTE LOS ÚLTIMOS 12 MESES HA SIDO DE:  Kwh/Mes: 110,541.67 C\$/Mes: 10,368.67	
ESTA FACTURA SÓLO TENDRÁ VALIDEZ CON LA AUTENTICACIÓN DE LA OFICINA DE COBRO Y NO ACREDITA EL PAGO DE LAS ANTERIORES					
RESERVADO PARA LA OFICINA DE COBRO					
TITULAR DEL CONTRATO <b>UNIVERSIDAD NACIONAL, DE INGENIERIA DISSUR</b>			DIRECCIÓN DEL SUMINISTRO T TECNOLÓGICO DE NI CDO S VILLA PROGRESO		
REFERENCIA DE COBRO SV 2032582215	MES DE FACTURA JULIO	NÚMERO DE FACTURA F122016071177658	FECHA DE EMISIÓN 29/07/2016	TOTAL A PAGAR C\$ 1,069,659.15	
ORDEN DE LECTURA 1210.40.20.34	TARIFA 720 MT. GRAL MAYOR BINOM.S MCH				

Fuente: DISNORTE-DISSUR

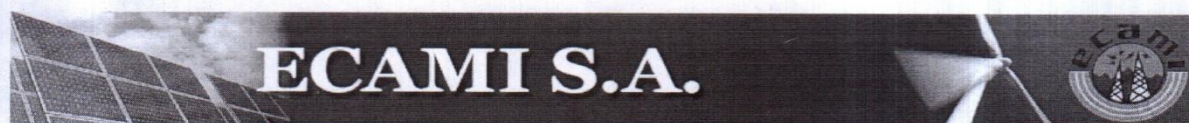
## **Anexo D**

### **Cotizaciones**

---



## Anexo D1: Cotización de los componentes del SFCR



**Cliente:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
**ATTN:**  
**Dirección:** MANAGUA  
**Email:**  
**Tipo de Sistema:** Cotización de componentes del Sistema FV conectado a red

**FECHA:** 11/08/2016

**Teléfono:**  
**Celular:**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	Precio Unit. U\$	TOTAL U\$
11	Sunny Tripower 20000TL-US includes SWDM-US-10 (built-in)	\$6,090.00	\$66,990.00
11	Delta Lightning Arrestor LA 302-R-DC	\$45.00	\$495.00
11	Delta Lightning Arrestor LA 602-R (AC)	\$50.00	\$550.00
1	<b>TRANSF.SEC.30KVA-3F-PR.480DELTA-SEC.120/208ESTRELLA</b>	\$1,690.00	\$1,690.00
1	P4320 Kill-A-Watt PS Meter - Estabilizador 1.5KVA	\$170.00	\$170.00
11	CENTRO DE CARGAS	\$500.00	\$5,500.00
11	ESTRUCTURA PARA PANELES	\$1,716.61	\$18,882.71
1	SOLAR INVERTER MONITOR Schneider	\$300.00	\$300.00
1848	CABLE 12 PARA CONEXIONES	\$0.80	\$1,478.40
440	CABLE 06 PARA CONEXIONES	\$2.44	\$1,073.60
250	CABLE 02 PARA CONEXIONES	\$4.83	\$1,207.50
300	CABLE 02 PARA CONEXIONES	\$4.83	\$1,449.00
1	MANO DE OBRA DE INSTALACION	\$7,764.00	\$7,764.00
495	Módulo Canadian solar MAX POWER CS6X-310P	\$279.00	\$138,105.00
<b>NOTA:</b> ESTAMOS EXCENTOS DE 1% DE ALCALDIA  <b>GARANTIAS:</b>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> PANELES BATERIAS INVERSOR CONTROLADOR </div> <div> <b>UNICAMENTE POR DESPERFECTO DE FABRICA</b>   25 AÑOS 12 MESES 24 MESES 36 MESES </div> </div>		Sub-Total	\$ 245,655.21
		IVA	\$ 13,726.93
		<b>TOTAL U\$</b>	<b>\$ 259,382.14</b>
		T/C	29.00
		C\$	7,522,082.06

### GENERAL SALES CONDITIONS :

**PRECIO:** NET in \$ DOLLARS  
**DESCUENTOS:** Incluidos  
**VALIDEZ:** 15 DIAS  
**FORMA DE PAGO:** PREPAGO (EFECTIVO, CK CERTIFICADO)  
**ENTREGA:** A PREVIA CONFIRMACION

**Nombre Vendedor:** OSCAR CANO  
**Correo Vendedor:** oscar.canoe@ecami.com.ni  
**Celular:** 87531018  
**Celular:** 87293097  
**Curso al sto domingo:** www.ecami.com.ni  
**WEB:** ecami@ibw.com.ni  
**ECAMI S.A.:**

Fuente: ECAMI S.A.

## Anexo D2: Cotización de los materiales para la base de la estructura

RUC # 0030911580001E

### FERRETERIA SYCA

COTIZACIÓN No. 0000023303

Fecha : 15/08/2016

Cliente : Universidad Nacional de Ingeniería

Correo : ferreteriasyca@gmail.com

Dirección :

Teléfono :

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unit.	Desc. %	Subtotal
014	PERNOS DE ALTA RESISTENCIA DE 29,000 Ksi- Diám. 1/2"	352.00	28.4	0	9,996.8
03-0011	ARENA METRO C/TRANSPORTE	1.50	343.48	0	515.22
03-0024	ESTRIBOS CUADRADO 10	600.00	1.80	0	1,080.00
03-0065	PIEDRIN METRO C/TRANSPORTE	1.50	521.74	0	782.61
CANAL	CEMENTO CANAL X BOLSA	1.00	236.53	0	236.53
H-T14	HIERRO 3/8 CORR STD VARILLA TICO 9.5MM	14.00	60.25	0	843.50

ELABORAR CHEQUE A NOMBRE DE: "MARIA DEL CARMEN OROZCO RIOS"

Sub total C\$: 13,454.66

BANPRO 1 1/2 C , ARRIBA

TEL. 2295-3051 / 2295-6544 CEL: 8989-8601

Impuesto C\$: 2,018.2

NOTA; ESTOS PRECIOS PUEDEN VARIAR EN CUALQUIER MOMENTO SIN PREVIO AVISO

Total Neto C\$: 15,472.86

Fuente: Ferretería SYCA